

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA $F'_c=900$
 Kg/Cm^2 , USANDO AGREGADOS DEL RÍO HUALLAGA PARA
LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN,
REGIÓN DE SAN MARTÍN**

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Por:

**BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA
ASESOR M.Sc. ING. WILTON CELIS ANGULO**

TARAPOTO - PERÚ

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN-TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA $F^c=900 \text{ Kg/Cm}^2$,
USANDO AGREGADOS DEL RÍO HUALLAGA PARA LA CIUDAD DE
TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN DE SAN
MARTÍN**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

Por:

BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL HONORABLE JURADO:

Presidente: ING. DANIEL DÍAZ PÉREZ



Secretario : ING. CARLOS E. CHUNG ROJAS



Miembro : ING. SANTIAGO CHÁVEZ CACHAY



Asesor : M.Sc. ING. WILTON CELIS ANGULO



DECLARACION JURADA Y NO PLAGIO

Yo, EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA, identificado con DNI N°: 70396959, domiciliado en el Jr. Ramon Castilla N° 651 – Urb. 09 de Abril – Tarapoto, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Titulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, **Declaro Bajo Juramento** que toda la documentación que acompaño es veraz y autentica.

Asimismo, **Declaro Bajo Juramento** que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 08 de Junio del 2017



Firma



Huella digital

DEDICATORIA

Con mucha humildad y cariño, dedico el presente trabajo, a:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido un valioso soporte y compañía durante todo el periodo de estudios e investigación.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto personal y académica; por su incondicional apoyo y amor sostenido a través del tiempo.

Todo este trabajo, ha sido posible mayormente gracias a ellos, a quienes agradezco con todo el corazón.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por darme la vida y haberme acompañado y guiado a lo largo de el proceso de mi formación académica, por ser mi escudo y fortaleza en los momentos de debilidad y angustia; y por brindarme una vida llena de muchos aprendizajes, experiencias exitosas, y sobre todo felicidad.

Doy muchas gracias a mis padres: Mariano y Eulibia, por brindarme su amor y cariño y apoyarme en todo momento, por los valores que me han sabido inculcar para ser un hombre de bien; y por haberme concedido la oportunidad de elegir mi carrera y tener una excelente educación en este devenir de mi existencia .

Agradezco a mi Asesor el Ing. M.Sc. Wilton Celis Angulo por creer en mí y haberme brindado su apoyo y asesoramiento profesional, de manera desinteresada, en el desarrollo de esta Tesis.

A la Mg. Ing. Ana Torre Carrillo, Jefa del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá” de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI), por confiar en mi persona y haberme brindado la oportunidad de desarrollar las pruebas y ensayos de la presente tesis, en las instalaciones del LEM-UNI y por todo el apoyo y facilidades que me fueron otorgadas, las mismas que me han permitido crecer y desarrollarme profesionalmente, aprendiendo cosas nuevas.

ÍNDICE

CONTENIDO	<u>Página</u>
APROBACION DE TEXTOS _____	ii
DECLARACIÓN JURADA Y NO PLAGIO _____	iii
DEDICATORIA _____	iv
AGRADECIMIENTO _____	v
ÍNDICE _____	vi
RESUMEN _____	xix
ABSTRACT _____	xx
I. INTRODUCCIÓN _____	01
1.1 GENERALIDADES _____	01
1.2 EXPLORACIÓN PRELIMINAR ORIENTANDO LA INVESTIGACIÓN _____	03
1.3 ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO _____	04
1.3.1 Datos Generales _____	04
1.3.1.1 Nombre del proyecto _____	04
1.3.1.2 Ubicación geográfica del proyecto _____	04
1.3.2 Periodo de ejecución del Proyecto _____	06
1.3.3 Facultad que presenta el Proyecto _____	06
1.3.4 Ejes temáticos prioritarios y línea de investigación _____	07
1.3.4.1 Ejes temáticos _____	07
1.3.4.2 Línea de investigación _____	07
1.3.5 Información general respecto a los “nuevos” insumos usados _____	07
II. MARCO TEÓRICO _____	08
2.1 ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO, DELIMITACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER _____	08
2.1.1 Antecedentes del problema _____	08
2.1.2 Planteamiento del problema _____	09
2.1.3 Delimitación del problema _____	10
2.1.4 Formulación del problema _____	10
2.2 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICOS _____	11

2.2.1 Objetivo general	11
2.2.2 Objetivos específicos	11
2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	11
2.3.1 Justificación teórica o temática	12
2.3.2 Justificación metodológica	12
2.3.3 Justificación de variabilidad	13
2.3.2 Justificación práctica	13
2.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
2.5 MARCO TEÓRICO	14
2.5.1 Antecedentes de la investigación	14
2.5.2 Marco teórico o fundamentación teórica de la investigación	16
2.5.2.1 Concreto de alta resistencia (CAR)	16
2.5.2.1.1 Definición	16
2.5.2.1.2 ¿Para qué es necesario el concreto de alta resistencia?	17
2.5.2.1.3 Usos	19
2.5.2.1.4 Ventajas y desventajas	20
2.5.2.1.5 Precauciones	21
2.5.2.1.6 Características del Concreto de Alta Resistencia	22
2.5.2.2 Propiedades de los Concretos de Alta Resistencia	24
2.5.2.2.1 Comportamiento esfuerzo – deformación (E-D) bajo compresión uniaxial	25
2.5.2.2.2 Unidad de peso	26
2.5.2.2.3 Propiedades térmicas	26
2.5.2.2.4 Ductilidad	27
2.5.2.2.5 Resistencia con relación de edad	27
2.5.2.2.6 Módulo de elasticidad	29
2.5.2.3 Materiales empleados en la mezcla	31
2.5.2.3.1 Agregados	31
2.5.2.3.2 Cemento	34
2.5.2.3.3 Aditivos Químicos	36
2.5.2.3.4 Adiciones Minerales	38
2.5.2.3.5 Agua	41
2.5.2.4 Diseño de mezclas de concreto de alto desempeño	43
2.5.2.4.1 Proporcionamiento de una mezcla de concreto de alta resistencia	

(ACI 211.4) _____	43
2.5.2.4.2 Procedimiento para el proporcionamiento de las mezclas _____	43
2.5.2.4.3 Método de diseño de mezclas de Bolomey _____	51
2.5.2.5 Propiedades del concreto en estado fresco _____	52
2.5.2.5.1 Color _____	52
2.5.2.5.2 Consistencia o Fluidéz _____	52
2.5.2.5.3 Trabajabilidad _____	53
2.5.2.5.4 Homogeneidad _____	54
2.5.2.5.5 Compacidad _____	54
2.5.2.5.6 Peso Unitario _____	54
2.5.2.5.7 Contenido del aire _____	55
2.5.2.5.8 Segregación _____	55
2.5.2.5.9 Exudación _____	56
2.5.2.5.10 Cohesividad _____	56
2.5.2.5.11 Estabilidad _____	56
2.5.2.6 Propiedades del concreto en estado endurecido _____	56
2.5.2.6.1 Resistencia a la Compresión _____	57
2.5.2.6.2 Durabilidad _____	58
2.5.2.6.3 Fragilidad _____	58
2.5.2.7 Técnica estadística de validación de resultados. _____	58
2.5.2.7.1 Contraste de Hipótesis. _____	58
2.5.2.7.2 La lógica del contraste de hipótesis. _____	59
2.5.2.7.3 Método general _____	60
2.5.2.7.4 Contraste sobre la distribución muestral. _____	61
2.5.2.7.5 Distribución t de Student. _____	62
2.5.3 Marco conceptual: terminología básica _____	66
2.5.3.1 Cemento Portland _____	66
2.5.3.2 Granulometría _____	66
2.5.3.3 Fraguado _____	67
2.5.3.4 Clinker _____	67
2.5.3.5 Curado _____	67
2.5.3.6 Resistencia a la Compresión (f'_c). _____	67
2.5.3.7 Tamaño Máximo (TM). _____	67
2.5.3.8 Tamaño Máximo Nominal (TMN). _____	67

2.5.3.9 NanoSílice	68
2.5.3.10 Exudación	68
2.5.3.11 Segregación	68
2.5.4 Marco histórico	68
2.6 HIPÓTESIS A DEMOSTRAR	70
 III. MATERIALES Y MÉTODOS	 71
3.1 MATERIALES	71
3.1.1 Recursos Humanos	71
3.1.2 Recursos Materiales	72
3.1.2.1 Agregados	72
3.1.2.2 Aditivo Superplastificante	73
3.1.2.2.1 Características y propiedades del superplastificante empleado	73
3.1.2.3 Adición Microsílice	75
3.1.2.3.1 Características y propiedades de la microsílice empleada	75
3.1.2.4 Cemento	78
3.1.2.4.1 Cemento usado	78
3.1.2.5 Agua	79
3.1.3 Recursos de equipos	79
3.1.4 Otros recursos	82
3.2 METODOLOGÍA	82
3.2.1 Universo, Muestra, Población	82
3.2.1.1 Población o Universo	82
3.2.1.3 Muestra	82
3.2.2 Sistema de Variables	83
3.2.2.1 Variables Independientes	83
3.2.2.2 Variable Dependiente	83
3.2.3 Diseño Experimental de la Investigación	83
3.2.4 Diseño de Instrumentos	84
3.2.4.1 Propiedades físicas y químicas de los agregados	84
3.2.4.1.1 Propiedades físicas de los agregados	84
3.2.4.1.2 Propiedades químicas de los agregados	91
3.2.4.2 Metodología para el diseño de mezclas	92
3.2.4.2.1 Combinación de los agregados	92

3.2.4.2.2 Diseño de mezcla del concreto	93
3.2.4.3 Preparación de las mezclas de concreto	110
3.2.4.3.1 Preparación de mezcla C°P	110
3.2.4.3.2 Preparación de mezclas C°AS y MS 9.5	111
3.2.4.4 Determinación de las prop. del concreto en estado fresco	112
3.2.4.4.1 Consistencia	113
3.2.4.4.2 Peso unitario	113
3.2.4.4.3 Contenido de aire	113
3.2.4.4.4 Tiempo de fraguado	113
3.2.4.5 Elaboración y curado de probetas cilíndricas.	114
3.2.4.6 Determinación de las prop. del concreto en estado endurecido	116
3.2.4.6.1 Resistencia a la compresión.	116
3.2.4.7 El uso de las técnicas estadísticas.	116
3.2.4.8 Instrumentos bibliográficos.	117
3.2.5 Procesamiento de la Información	119
3.2.5.1 Ensayos previos al diseño	119
3.2.5.1.1 Características físicas de los agregados	119
3.2.5.2 Metodología usada para el diseño final.	121
3.2.5.3 Determinación de las propiedades del concreto.	122
3.2.5.4 Parámetros estadísticos.	123
3.2.5.5 Análisis de costos.	124
 IV. RESULTADOS	 125
4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	125
4.1.1 Peso unitario de los agregados.	125
4.1.2 Peso específico y absorción.	126
4.1.3 Contenido de humedad.	127
4.1.4 Granulometría de los agregados.	128
4.1.5 Materiales más finos que pasan la malla N° 200 (75 µm).	131
4.1.6 Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino.	131
4.1.7 Resistencia a la abrasión (Maquina de los Ángeles)	131
4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS.	132
4.3 COMBINACIÓN ÓPTIMA DEL AGREGADO GRUESO.	133
4.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.	135

4.4.1 Diseño de mezclas del concreto patrón (C°P).	135
4.4.2 Diseño de mezclas del C° más aditivo superplastificante (C°AS).	136
4.4.3 Diseño de mezclas del concreto con aditivo superplastificante más Adición de microsílice (MS 9.5).	138
4.4.4 Resumen de diseños de mezclas.	140
4.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.	141
4.5.1 Consistencia.	141
4.5.2 Peso unitario.	142
4.5.3 Contenido de aire.	143
4.5.4 Tiempo de fraguado.	143
4.6 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.	145
4.6.1 Resistencia a la compresión.	145
4.7 PARAMETROS ESTADÍSTICOS.	149
4.8 ANÁLISIS DE COSTOS.	155
 V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	 157
5.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.	157
5.1.1 Generalidades	157
5.1.2 Agregados	157
5.1.3 Diseños de mezcla	158
5.1.4 Propiedades en estado fresco.	159
5.1.4.1 Consistencia	159
5.1.4.2 Peso unitario.	159
5.1.4.3 Contenido de aire.	160
5.1.4.4 Tiempo de fraguado.	160
5.1.5 Propiedades del concreto en estado endurecido.	160
5.1.5.1 Resistencia a la compresión.	160
5.1.6 Análisis de costos.	161
5.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	162
5.2.1 Agregados.	162
5.2.2 Diseño de mezclas.	163
5.2.3 Propiedades en estado fresco.	165

5.2.3.1 Consistencia.	165
5.2.3.2 Peso unitario.	166
5.2.3.3 Contenido de aire.	166
5.2.3.4 Tiempo de fraguado.	166
5.2.4 Propiedades del concreto en estado endurecido.	166
5.2.4.1 Resistencia a la compresión.	167
5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	167
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.	169
5.5 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.	169
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	170
6.1 CONCLUSIONES.	170
6.2 RECOMENDACIONES.	172
VII. BIBLIOGRAFÍA	174
7.1 BIBLIOGRAFÍA	174
7.2. LINKOGRAFÍA	175
VIII. ANEXOS	176
ANEXO N° 01: ENSAYOS PRELIMINARES	177
Anexo N°01.01 Propiedades físicas de los agregados	178
Anexo N°01.01.01 Propiedades físicas del agregado fino	179
Anexo N°01.01.02 Propiedades físicas del agregado grueso	183
Anexo N°01.01.02.01 Propiedades físicas de la piedra chancada de 1/2".	184
Anexo N°01.01.02.02 Propiedades físicas de la piedra chancada de 3/8".	188
Anexo N°01.01.02.03 combinación óptima de los agregados gruesos.	192
Anexo N°01.02 Propiedades químicas de los agregados	195
Anexo N°01.02.01 Propiedades químicas del agregado fino.	196
Anexo N°01.02.02 Propiedades químicas del agregado grueso.	199
ANEXO N° 02: DISEÑO DE MEZCLAS	202
Anexo N° 02.01: Diseño del Concreto Patrón (C°P)	203
Anexo N° 02.02: Diseño del C° más aditivo superplastificante (C°AS)	206
Anexo N° 02.03: Diseño del Concreto con aditivo superplastificante más microsílice (MS 9.5)	210
ANEXO N° 03: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	212

ANEXO N° 04: PROPIEDADES DEL C° EN ESTADO ENDURECIDO	222
Anexo N° 04.01: Resistencia a la compresión.	223
Anexo N° 04.01.01: Resistencia a la compresión a 03 días de edad.	214
Anexo N° 04.01.02: Resistencia a la compresión a 07 días de edad.	226
Anexo N° 04.01.03: Resistencia a la compresión a 28 días de edad.	228
Anexo N° 04.01.04: Resistencia a la compresión a 56 días de edad.	230
Anexo N° 04.01.05: Resumen resistencias a la compresión.	232
ANEXO N° 05: CONSTANCIA DE HABER REALIZADO LOS ENSAYOS EN EL LEM-UNI.	234
ANEXO N° 06: ANÁLISIS DE COSTOS	236
ANEXO N° 07: PANEL FOTOGRÁFICO	240
ANEXO N° 08: HOJAS TÉCNICAS DE INSUMOS USADOS	266
Anexo N° 08.01: Hoja Técnica del Cemento	267
Anexo N° 08.02: Hoja Técnica del Aditivo Superplastificante	269
Anexo N° 08.03: Hoja Técnica de la Adición Microsílice	274

ÍNDICE DE TABLAS

Descripción	Página
Tabla N° 01. Slump recomendado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante. _____	44
Tabla N° 02. Tamaño máximo del agregado grueso. _____	45
Tabla N° 03. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (Para Ag. Fino con MF entre 2.5 – 3.2). _____	46
Tabla N° 04. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire del concreto basado en el uso de una arena con 35% de vacíos. _____	47
Tabla N° 05^a. Relación (agua/materiales cementicios) para concretos sin superplastificante _____	48
Tabla N° 05^b. Relación (agua/materiales cementicios) para concretos con superplastificante _____	49
Tabla N° 06. Valores de f según la fórmula de Bolomey. _____	52
Tabla N° 07. Tipos de errores en el contraste. _____	62
Tabla N° 08. Resistencia a la compresión promedio. _____	64
Tabla N° 09. Grados de control – V(%) _____	66
Tabla N° 10. Límites granulométricos para el agregado fino. _____	87
Tabla N° 11. Límites granulométricos para el agregado grueso. _____	88
Tabla N° 12. Cantidad mínima de muestra de ensayo para agregado grueso. _____	89

ÍNDICE DE CUADROS

Descripción	Página
Cuadro N° 01: Análisis químico de la microsílice Sika Fume. _____	77
Cuadro N° 02: Características físicas y químicas del Cemento Portland Tipo I – Pacasmayo. _____	78
Cuadro N° 03: Experimentación realizada para obtener la dosis adecuada de aditivo superplastificante _____	101
Cuadro N° 04: Experimentación realizada para obtener la dosis adecuada de aditivo superplastificante. _____	109
Cuadro N° 05: Propiedades físicas y químicas del agregado fino. _____	120
Cuadro N° 06: Propiedades físicas y químicas del agregado grueso. _____	121
Cuadro N° 07: Resumen de las resistencias a la compresión de cada diseño. _____	123
Cuadro N° 08: Determinación del peso unitario suelto y compactado del agreg. fino. _____	125
Cuadro N° 09: Determinación del peso unitario suelto y compactado del <u>agregado</u> grueso de ½” _____	125
Cuadro N° 10: Determinación del peso unitario suelto y compactado del <u>agregado</u> grueso de 3/8” _____	125
Cuadro N° 11: Peso específico de la arena triturada. _____	126
Cuadro N° 12: Peso específico de la piedra chancada de ½”. _____	126
Cuadro N° 13: Peso específico de la piedra chancada de 3/8”. _____	127
Cuadro N° 14: Contenido de humedad del agregado fino. _____	127
Cuadro N° 15: Contenido de humedad del agregado grueso. _____	127
Cuadro N° 16: Análisis granulométrico de la arena triturada. _____	128
Cuadro N° 17: Análisis granulométrico de la piedra chancada de ½”. _____	129
Cuadro N° 18: Análisis granulométrico de la piedra chancada de 3/8”. _____	130
Cuadro N° 19: Materiales más finos que pasan la malla N° 200. _____	131
Cuadro N° 20: Impurezas orgánicas en el agregado fino. _____	131
Cuadro N° 21: Resistencia a la abrasión de la piedra chancada de ½”. _____	131
Cuadro N° 22: Resistencia a la abrasión de la piedra chancada de 3/8”. _____	132
Cuadro N° 23: propiedades químicas de los agregado fino. _____	132

Cuadro N° 24: propiedades químicas de los agregado grueso. _____	132
Cuadro N° 25: Análisis granulométrico de la piedra chancada combinada. _____	133
Cuadro N° 26: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso _____	134
Cuadro N° 27: Hoja de diseño del C°P. _____	135
Cuadro N° 28: Hoja de diseño del C°AS. _____	136
Cuadro N° 29: Hoja de diseño del MS 9.5. _____	138
Cuadro N° 30: Resumen de dosificación volumétrica de los diseños de mezclas (proporciones en obra). _____	140
Cuadro N° 31: Valores de consistencia _____	141
Cuadro N° 32: Valores de peso unitario para el concreto fresco _____	142
Cuadro N° 33: Valores de porcentaje de aire. _____	143
Cuadro N° 34: Resumen de tiempos de fragua inicial y final. _____	143
Cuadro N° 35: Resistencia a la compresión del concreto C°P. _____	145
Cuadro N° 36: Resistencia a la compresión del concreto C°AS. _____	146
Cuadro N° 37: Resistencia a la compresión del concreto MS 9.5. _____	147
Cuadro N° 38: Resumen de la resistencia a la compresión según edad. _____	148
Cuadro N° 39: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia C°P _____	149
Cuadro N° 40: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia C°AS _____	151
Cuadro N° 41: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia MS 9.5 _____	153
Cuadro N° 42: Costo del concreto patrón (C°P). _____	155
Cuadro N° 43: Costo del concreto más aditivo superplastificante (C°AS). _____	155
Cuadro N° 44: Costo del concreto con aditivo superplastificante más adición de microsílice (MS 9.5). _____	155
Cuadro N° 45: Comparación de los costos del concreto. _____	155

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Descripción	Página
Gráfico 01: Curva granulométrica de la arena triturada. _____	128
Gráfico 02: Curva granulométrica de la piedra chancada de ½". _____	129
Gráfico 03: Curva granulométrica de la piedra chancada de 3/8". _____	130
Gráfico 04: Curva granulométrica de la piedra chancada combinada. _____	133
Gráfico 05: Comparación de las proporciones volumetricas entre diseños. _____	140
Gráfico 06: Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto _____	141
Gráfico 07: Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto _____	142
Gráfico 08: Contenido porcentual de aire, para cada mezcla de concreto. _____	143
Gráfico 09: Tiempos de fragua inicial y final. _____	144
Gráfico 10: Curva de fragua de los diseños mas óptimos. _____	144
Gráfico 11: Evolución del concreto C°P. _____	145
Gráfico 12: Evolución del concreto C°AS. _____	146
Gráfico 13: Evolución del concreto MS 9.5. _____	147
Gráfico 14: Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla de concreto. _____	148
Gráfico N° 15: Variación de estadísticos descriptivos C°P _____	150
Gráfico N° 16: Variación de estadísticos descriptivos C°AS _____	152
Gráfico N° 17: Variación de estadísticos descriptivos MS 9.5 _____	154
Gráfico N° 18: Costo y resistencia a la compresión a la edad de 56 días, para concretos de alta resistencia. _____	156
Gráfico 19: Beneficio-costo para concretos de alta resistencia obtenidos. _____	156

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción	Página
Figura N° 01: Localización geográfica del objeto de estudio_____	05
Figura N° 02: Localización de la cantera de donde proceden los agregados_____	06
Figura N° 03: Desarrollo de la resistencia a la compresión a diferentes edades._____	16
Figura N° 04: Pavimento rígido._____	17
Figura N° 05: Burj Khalifa _____	17
Figura N° 06: Viaducto de Millau _____	18
Figura N° 07: Presa de almendra (España) _____	18
Figura N° 08: Trabes de gran claro en uso _____	20
Figura N° 09: Resistencia a compresión vrs edad concreto. _____	28
Figura N°10: Ensayo para medir la resistencia a la compresión de las probetas o testigos. _____	29
Figura N° 11: Cálculo módulo de elasticidad _____	30
Figura N°12: Representación de la cantidad de insumos para la elaboración del concreto. _____	31
Figura N° 13: Agua con partículas de cemento en suspensión. _____	42
Figura N° 14: Esquema de diseño de investigación. _____	83
Figura N° 15: Procedimiento de fabricación de probetas. _____	114
Figura N° 16: Procedimiento de fabricación de probetas. _____	115
Figura N° 17: Detalles finales de fab. de probetas: Reducción de la resistencia a 28 días, según diferentes curados iniciales (2.5 días) _____	115

RESUMEN

La presente investigación científica estudia el diseño del concreto de alta resistencia de $f'_c \geq 900 \text{ Kg/cm}^2$, usando insumos locales como los agregados (cantera Buenos Aires - Provincia de Picota), el cemento Portland tipo I (planta de cemento Pacasmayo - Prov. de Rioja) e insumos nacionales como la microsilíce (SIKA FUME) y el superplastificante (SIKA VISCOCRETE 20HE); desarrollada con el objetivo de demostrar que usando insumos locales se pueden producir este tipo de concreto; permitiendo así, presentar una nueva alternativa en materiales para la industria de la construcción regional.

Esta investigación inició con la determinación y obtención de las propiedades físicas y químicas de los insumos predispuestos a usar; luego, se procedió a desarrollar diseños de mezclas; se inició creando un Concreto Patrón (C°P), con relación Agua/Cemento (A/C) igual a 0.40; a partir de ésta, se experimenta un nuevo diseño, usando el aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante) en una dosis del 1.5% del peso del cemento (Wc), logrando reducir la relación A/C a 0.25, mezcla que se la denominó como Concreto más Aditivo Superplastificante (C°AS). Finalmente, se procedió a trabajar la mezcla C°AS más la adición del microsilíce, obteniendo así una dosis de superplastificante del 1.4% del Wc para una dosis de microsilíce del 9.5% del Wc, mezcla denominada como Concreto más aditivo Superplastificante y Microsilíce (MS 9.5), concreto con el cual se obtuvieron resultados óptimos y alentadores.

Las mezclas trabajadas con relación A/C igual a 0.25, obtuvieron asentamientos del orden de 7 a 9 pulg. y una extensibilidad entre 40 y 55 cm, considerándolos como concretos de altas resistencias y semi-autocompactantes. Los diseños usan como base el método de diseño de mezclas propuesto por el comité ACI 211.4R e investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional; Todas trabajadas y monitoreadas bajo las Normas Técnicas Peruanas. La más alta resistencia a la compresión promedio obtenida fue de 1222 Kg/Cm^2 a la edad de 56 días, resultado obtenido con el diseño MS 9.5; superando las expectativas iniciales y demostrando que si es posible estar a la altura de las nuevas tecnologías del concreto usando insumos locales.

Palabras claves: Concreto de alta resistencia, diseño de mezclas, dosificación, resistencia a la compresión.

El Autor

ABSTRACT

The following scientific research studies the design of $f'_c \geq 900 \text{ Kg/cm}^2$ high strength concrete of using local inputs such as aggregates (Buenos Aires quarry - Picota Province), Portland cement type I Pacasmayo - Prov. De Rioja cement plant) and national inputs such as microsilice (SIKA FUME) and superplasticizer (SIKA VISCOCRETE 20HE); Developed with the aim of demonstrating that using local inputs can produce this type of concrete; Allowing to present a new alternative in materials for the regional construction industry.

This research began with the determination and obtaining of the physical and chemical properties of the predisposed inputs to be used; then, we proceeded to develop designs of mixtures; was started by creating a Concrete Pattern (C°P), with Water / Cement ratio (A / C) equal to 0.40; From this, a new design is experimented, using the high-water reducing additive (super plasticizer) in a dose of 1.5% of the weight of the cement (Wc), reducing the A / C ratio to 0.25, a mixture that is Called it as Concrete Plus Additive Super plasticizer (C ° AS). Finally, the C ° AS mixture plus the addition of the microsilica were processed, thus obtaining a super plasticizer dose of 1.4% of the Wc for a dose of microsilice of 9.5% of Wc, a mixture called Concrete plus Super plasticizer and Microsilice additive (MS 9.5), concrete with which optimum and encouraging results were obtained.

The mixtures worked with A/C ratio of 0.25, obtained settlements of the order of 7 to 9 in and an extensibility between 40 and 55 cm, considering them as concrete of high resistance and semi-self-compacting. The designs are based on the mix design method proposed by the ACI 211.4R committee and national and international research; all worked and monitored under the Peruvian Technical Standards. The highest average compressive strength obtained was 1222 Kg/cm^2 at the age of 56 days, result obtained with the MS 9.5 design; Surpassing the initial expectations and demonstrating that if it is possible to live up to the new concrete technologies using local inputs.

Keywords: High strength concrete, mixing design, dosing, compressive strength



I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Las nuevas tecnologías en los procesos constructivos demandan mejoras e innovaciones en los materiales y su calidad en las obras. Material como el concreto, que es el material más empleado por la actividad constructora desde finales del siglo XX, y cuya demanda ha generado que este vaya evolucionando de tal forma que en la actualidad existen diversas “variedades” de concretos; concretos que en la actualidad demandan en su composición la incorporación de adiciones y aditivos con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas, todos con la finalidad de optimizar recursos y satisfacer necesidades cada vez más exigentes.

Tal es el caso del concreto de alta resistencia (CAR), el cual tiene la capacidad de resistir cargas a compresión más altas de las que soportaría un concreto ordinario, ganar resistencias iniciales importantes, ser durable y permeable; características que nos permiten reducir dimensiones de las secciones de elementos estructurales, colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor, nos dan gran control de las objetables deflexiones y agrietamientos; que nos permiten construir estructuras de gran envergadura. Propiedades y usos que hacen técnica y económicamente posibles grandes claros, edificios elevados y diversas mega estructuras. Por tal motivo, el problema que se decidió solucionar, gira en torno a la inexistencia de especificaciones técnicas para diseñar y/o crear un concreto de alta resistencia $f'c \geq 900 \text{ Kg/cm}^2$ con insumos locales, para la ciudad de Tarapoto. Objetivo que fue cumplido, presentando finalmente esta nueva tecnología del concreto a la industria de la construcción regional para su próxima aplicación.

Metodológicamente, el diseño de mezcla del concreto, se realizó siguiendo las especificaciones dadas por las normas técnicas peruanas y siguiendo la secuencia metodológica propuesto por el Comité ACI 211.4 e investigaciones realizadas a nivel nacional.

Todos los ensayos que intervinieron en la creación de los concretos realizados en esta investigación, fueron realizados en el Laboratorio N°1 de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad

Nacional de Ingeniería de la ciudad de Lima; iniciándose con la obtención de las propiedades físicas del agregado llevado de la cantera Buenos Aires (río Huallaga), con cuyos datos se procedió a realizar primeramente un diseño patrón y un diseño incorporando el aditivo superplastificante, así se obtuvo la proporción tentativa de los materiales, los cuales se usaron y se ajustaron para realizar el diseño final, el cual contempla el uso de adición de microsílice más el uso de aditivo superplastificante.

Es así que esta investigación se realizó de acuerdo con el siguiente esquema capitular: En el **capítulo I** se presenta la introducción al problema, a la investigación y en esencia a todo lo que va en esta tesis; en el **capítulo II** se realiza el planteamiento del problema, en donde se indican los antecedentes, el planteamiento, la delimitación y formulación del problema, también se presentan los objetivos, la justificación y delimitación de la investigación. Así como también se presentan todos los teorías, términos, conceptos y experiencias usadas para la realización de la investigación; y finalmente, se presenta la hipótesis; en el **capítulo III** se describen los materiales y la metodología usada en esta investigación. Sirve como antecedente o mediador con el siguiente capítulo, es decir, se describen todos los hechos realizados para obtener los resultados que se presentan el siguiente capítulo; en el **capítulo IV** se presentan en forma fría y sin comentarios los resultados, lo que sería el motor de esta investigación; en el **capítulo V** se realiza el análisis y la discusión de los resultados presentados en el capítulo anterior, de tal forma que aquí se presenta la justificación y validación de los resultados obtenidos de acuerdo con las normas, para finalmente poder realizar el contraste de la hipótesis. Este capítulo es fundamental, ya que orienta a la toma de conclusiones; en el **capítulo VI** se presenta la parte más importante de esta investigación, las conclusiones y recomendaciones; estas presentadas de acuerdo con los resultados obtenidos en concordancia con los objetivos y la hipótesis planteada inicialmente; en el **capítulo VII** se presentan las fuentes que se usaron para el desarrollo teórico de esta investigación, presentando el origen y/o propiedad intelectual de los textos e información virtual usados y, finalmente, en el **capítulo VIII**, presentamos en forma de anexos, la información que se usó y/o originó a partir de esta investigación. También, se presenta un panel fotográfico, resultados firmados y sellados por el Laboratorio de Ensayo de Materiales, hojas de propiedades físicas y químicas de los materiales usados y se anexa la constancia de haber realizado estos ensayos en el LEM-UNI.

Esperando finalmente que esta investigación sea como un peldaño más a superar por los futuros investigadores, para así lograr un mayor avance y mejoramiento de la Tecnología del Concreto localmente, y estar a la altura de las nuevas tecnologías y demandas que cada día son más exigentes.

1.2 EXPLORACIÓN PRELIMINAR ORIENTANDO LA INVESTIGACIÓN

El concreto de alta resistencia se inició a elaborar a nivel de laboratorio a partir de 1985 en los Estados Unidos, Japón y Alemania, alcanzando mayor uso y generando expandir los límites que representan al concreto de alta resistencia. Es así que en la actualidad el CAR es sinónimo de extraordinarias y/o altas resistencias y también de excelente manejabilidad y trabajabilidad.

Aunque hoy por hoy en el país el CAR sea un material usado en casos especiales, se proyecta a que sea de mucha aplicación en un futuro no muy lejano. La principal limitación es la carencia de estudios como éste, que den a conocer la posibilidad de obtener concretos de elevadas resistencias con insumos locales, y así mostrar las propiedades y comportamientos de estos concretos; también hace falta que los estructuralistas adecuen estas resistencias a las ecuaciones típicas de diseño estructural.

Actualmente existen un sin número de definiciones de lo que es un concreto de alta resistencia, pero la más aceptada según la investigación de **Portugal Barriga**, es la dada por el ACI (Instituto Americano del Concreto), quien lo describe como aquel concreto que tiene una resistencia a la compresión $f'c \geq 420 \text{ Kg/cm}^2$; concepto que esta en constante cambio. También nos indica que “un concreto de alto desempeño es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y uniformidad que no siempre pueden ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinarias”.

Según **Santa Cruz Burga**, un concreto de alto desempeño debe cumplir con ciertas características desarrolladas para una aplicación y medio ambiente particular. A continuación, algunas características de consideraciones críticas a cumplir para una adecuada aplicación:

1. Facilidad en su colocación.
2. Compactación sin segregación.
3. Propiedades mecánicas a largo plazo.
4. Resistencia inicial.
5. Permeabilidad.
6. Densidad.
7. Calor de hidratación.
8. Dureza.
9. Estabilidad volumétrica.
10. Gran periodo de vida de servicio en un medio ambiente severo.

Otra definición importante y resaltante es la dada por el **Ing. Rivva Lopez**, donde precisa que “los concretos de alta resistencia obtenidos por incorporación a la mezcla de microsílíce y de superplastificante, son una nueva clase de concretos que, como su nombre lo indica, tienen resistencia en compresión que a los 28 días sobrepasan los 700 Kg/Cm² y que pueden alcanzar resistencias de 1200 Kg/cm² o mayores a los 90 días.

1.3 ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.3.1 DATOS GENERALES

1.3.1.1 Nombre del proyecto

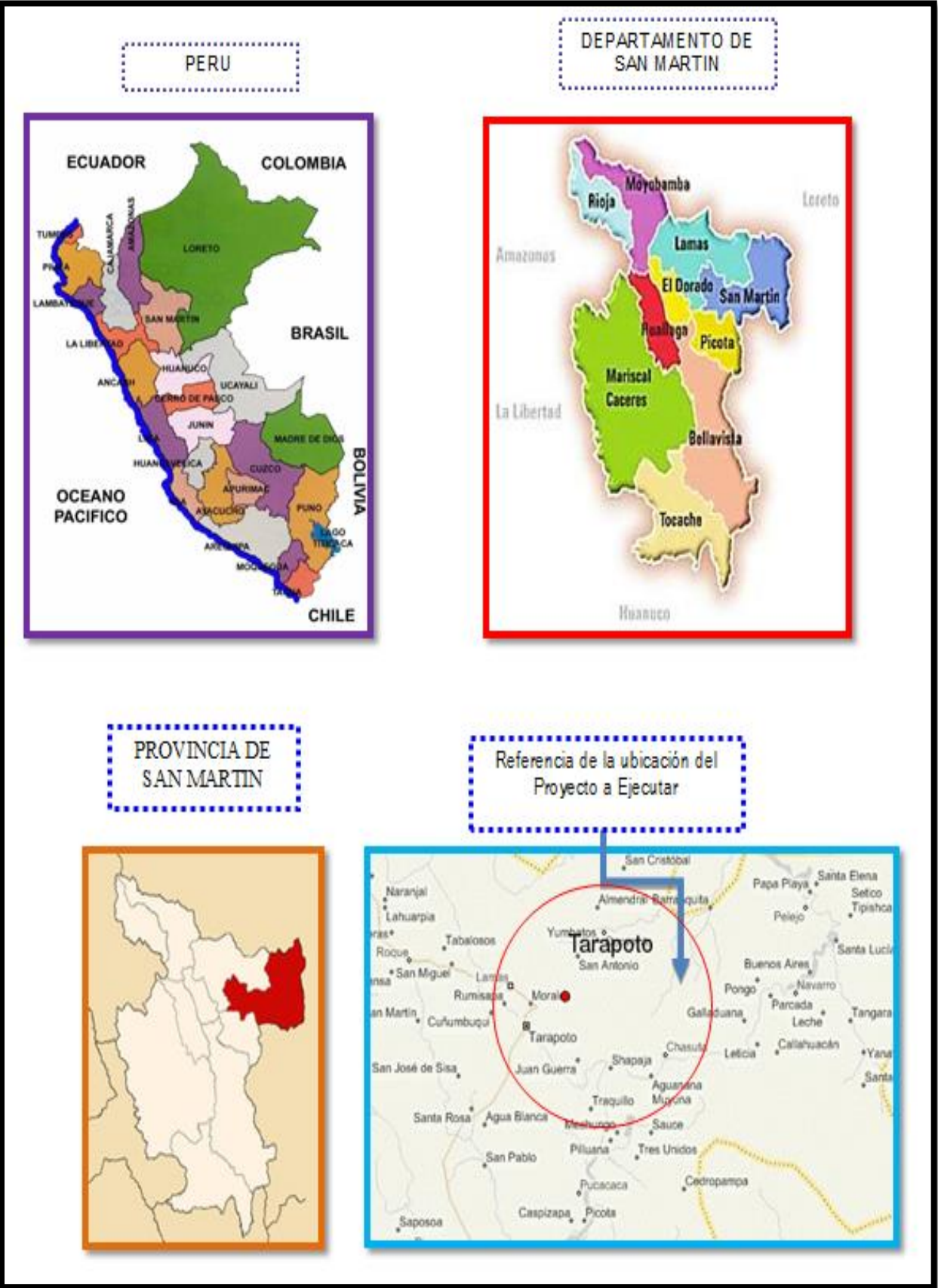
DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA $F'C=900 \text{ KG/CM}^2$, USANDO AGREGADO DEL RIO HUALLAGA PARA LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN DE SAN MARTÍN.

1.3.1.2 Ubicación geográfica del proyecto

Ubicación:

PAIS	:	PERÚ.
DEPARTAMENTO	:	SAN MARTIN.
PROVINCIA	:	SAN MARTIN.
DISTRITO	:	TARAPOTO.

Figura N° 01: Localización geográfica del objeto de estudio.



Fuente: Google maps

Figura N° 02: Localización de la cantera de donde proceden los agregados.



Fuente: Elaboración propia

1.3.2 PERIODO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación se desarrolló en el periodo de ejecución previsto, realizado en laboratorio desde Octubre del 2015 hasta Enero del 2016 y en gabinete se desarrolló desde febrero hasta junio del presente año, con un total de 09 meses de ejecución de la investigación propiamente dicha (*Véase también cronograma de actividades*).

1.3.3 FACULTAD QUE PRESENTA EL PROYECTO

Universidad: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

Facultad : Ingeniería Civil y Arquitectura

Esc. Prof. : Ingeniería Civil

1.3.4 EJES TEMÁTICOS PRIORITARIOS Y LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

1.3.4.1 Eje temático

Ingeniería, tecnología y construcción

Objetivo: Vincular los conceptos, la ciencia y la tecnología para crear un material (Concreto de alta resistencia) que nos pueda poner a la altura de los nuevos avances tecnológicos respecto a materiales de construcción.

1.3.4.2 Línea de investigación

Mi línea de investigación está guiada respecto a la: **Tecnología del Concreto.**

1.3.5 INFORMACIÓN GENERAL RESPECTO A LOS “NUEVOS” INSUMOS USADOS:

La innovación de nuevos tipos de concretos y la variación en la definición de estos ha sido causada por el avance acelerado en la tecnología de nuevas materias primas en la creación de aditivos y adiciones, haciendo posible la producción de concretos especiales como lo es el concreto de alta resistencia (CAR); adición como lo es la Microsílice, la cual genera propiedades físicas y químicas increíbles, resumidas en su alta reactividad puzolánica que reacciona con el hidróxido de calcio para formar un Gel con notable incremento en las propiedades del concreto (mayor durabilidad, resistencia a la compresión, al agua y a los agentes químicos; llegando a ser uno de los productos más usados en el mundo del concreto, formando parte de muchos edificios de concreto que vemos hoy en día. Adición que demanda el uso de más agua y que para usarlo y mantener la misma relación A/C debe emplearse junto con un aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango) y así obtener las propiedades mecánicas que se requieran.

En ese sentido el presente trabajo de investigación ha experimentado incorporando microsílice y superplastificante a la mezcla de concreto con el objetivo de obtener un concreto de alta resistencia de un $F'c \geq 900 \text{ Kg/cm}^2$, elaborada con insumos locales como son los agregados (grueso y fino) provenientes de la cantera Buenos Aires de la Provincia de Picota y el cemento proveniente de la Planta de Cemento Pacasmayo de la provincia de Rioja, usando como base el método de diseño propuesto por el comité ACI 211.4 y a base de un estricto control de calidad guiadas por las normas que lo rigen.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO, DELIMITACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER

2.1.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Cuando hablamos de Concreto de Alta Resistencia (CAR) rápidamente nos hacemos una idea general de lo que es; considerado un material nuevo y singular por sus especificaciones y escasa utilización. Este fue ampliándose en el mercado desde las décadas de los 60's y 70's, en la construcción de edificios de gran altura en Estados Unidos y Japón, principalmente.

Según la **National Ready Mixed Concrete Association**, actualmente denominamos concreto de alta resistencia al concreto de alto desempeño, que comúnmente posee una resistencia mayor a los 6000 psi (40MPa), cuya resistencia se mide en cilindros de prueba de 6" x 12" (150 x 300 mm) o de 4" x 8" (100 x 200 mm), a los 56 o 90 días por lo general, o alguna otra edad dependiendo de su uso; cuya creación requiere un control de calidad más exigente en comparación a los concretos convencionales. Creación que ha ido de la mano, con la incorporación de adicciones y aditivos, con la finalidad de mejorar sus propiedades físico - mecánicas para lograr altas resistencias.

Según el recuento histórico de **E. Rivva López**, la evolución ha sido lenta, en los EE.UU. en los años 50's, se consideraban como CAR los de 350 kg/cm^2 . En la década del 60's, los niveles fueron de 420 a 525 kg/cm^2 . Siendo que a finales de los 80's se logro alcanzar los 1000 kg/cm^2 . En la actualidad en países de gran desarrollo, se han logrado crear CAR de hasta 2300 kg/cm^2 , nivel que en nuestro país aún no se logra crear y que no supera $f'c \geq 1500 \text{ kg/cm}^2$.

En el caso de nuestra región, no existen antecedentes del uso de CAR de $f'c \geq 900 \text{ kg/cm}^2$, desconociendo su aplicación y superioridad, lo que hace algo incierto su uso. Sin embargo, existen investigaciones relacionadas como son la del ahora Ing. Mario García Torres quien realizó en el 2013 un CAR de un $f'c=480 \text{ kg/cm}^2$ y la del Bach. Lelis Santa Cruz Burga quien realizó en el 2014 un CAR de un $f'c=600 \text{ kg/cm}^2$, cuyas experiencias e investigaciones fueron de mucha ayuda para desarrollar la presente investigación.

Este hecho, ha constituido uno de las principales motivaciones para desarrollar la presente investigación, por la importancia de estar a la altura de los nuevos avances tecnológicos y la necesidad de incrementar la libertad del diseño, aumentar la productividad y la rentabilidad del mismo. Los resultados de este modesto trabajo, podrán utilizarse para solucionar algunos problemas constructivos, teniendo presente que dependerá mucho del conocimiento de los materiales (propiedades y naturaleza), así como también del adecuado asesoramiento técnico (selección de las proporciones, proceso de puesta en los cilindros de prueba, control de calidad e inspección, y curado) que se elaboraran con cemento nacional y agregado de la cantera Buenos Aires de la Provincia de Picota, Región de San Martín.

2.1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de concreto se ha vuelto tan universal y común en la industria de la construcción, que apreciamos su aplicación en muchas partes y latitudes; pero también observamos que el mundo de hoy exige estructuras cada vez más complejas, de mayor resistencia y de mayor magnitud; generando problemas difíciles de solucionar con concretos ordinarios. Este es el principal motivo por el que se siguen creando concretos cada vez más resistentes, capaces de resistir fuerzas más altas de las que soportaría un concreto ordinario, de optimizar dimensiones de secciones en elementos estructurales y capaces de controlar las objetables deflexiones y agrietamientos; logrando que sean técnica y económicamente posible la creación de grandes claros, estructuras modernas y diversas mega estructuras.

La región San Martín, no es ajena a esta problemática, en donde la industria inmobiliaria lleva una tendencia de crecimiento, desarrollo e innovación permanente; trayendo consigo mayores problemas y exigencias, generando así mismo, la necesidad de contar con materiales de construcción de mayor calidad, que logren estar a la altura de los nuevos avances tecnológicos y exigencias del mercado, incrementando la libertad del diseño así como aumentar la productividad y rentabilidad del mismo.

Este es uno de los principales objetivos de la presente investigación, generar un diseño de material como lo es el concreto de alta resistencia, capaz de cumplir con las exigencias antes mencionadas; haciéndose indispensable para el diseño de mezcla el

uso de recursos de la zona como son los agregados que se encuentran en gran cantidad en la región, garantizando optimizar el aprovechamiento de estos recursos naturales abundantes y de fácil disposición y uso en la región.

2.1.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El problema materia de la presente investigación, presenta las siguientes limitaciones:

Limitado a la carencia de estudios técnicos, investigaciones y/o experiencias en el diseño de concretos de alta resistencia ($f'c \geq 900 \text{ kg/cm}^2$) con INSUMOS LOCALES.

La escasa información y/o antecedentes sobre el uso de aditivos y adiciones en la creación de concretos de alta resistencia a nivel regional.

Está limitado a la falta de métodos de diseño de concreto de alta resistencia, para concretos con resistencia a la compresión superiores a un $f'c > 850 \text{ Kg/cm}^2$.

A la falta de equipos imprescindibles para el desarrollo de este tipo de investigaciones en los laboratorios de ensayos de materiales de la Región.

2.1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El escaso conocimiento o poca trascendencia que se da a los beneficios y propiedades de usar un Concreto de Alta Resistencia, ha minimizado la evolución, en este aspecto de la infraestructura regional y nacional, prevaleciendo y caracterizándonos por el uso de concretos ordinarios que nos limitan a la hora de diseñar e impiden proyectarnos al nivel actual de las edificaciones del primer mundo y cuya deficiencia de tecnología de materiales elaborados empleando nuestros insumos locales, es la principal motivación de esta investigación.

Bajo estos antecedentes, me encontré en la obligación de formularme la siguiente interrogante: **¿De qué forma se lograría instaurar especificaciones técnicas para diseñar un concreto de alta resistencia $f'c=900\text{kg/cm}^2$, empleando agregados locales extraídos de la cantera Buenos Aires – Provincia de Picota y provenientes del Río Huallaga para la ciudad de Tarapoto?**

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un Concreto de Alta Resistencia (CAR) con un $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$ empleando agregados de la cantera Buenos Aires – Provincia de Picota, provenientes del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto.

2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Empleando las especificaciones técnicas existentes, evaluar y elegir el agregado más adecuado de la cantera Buenos Aires del río Huallaga para obtener un concreto de alta resistencia con un $f'c=900 \text{ kg/cm}^2$.

Identificar y especificar las normas que rigen este tipo de concreto.

Comparar ensayos a compresión realizados en probetas de concreto de forma cilíndrica de 4" x 8" (b x h) en distintas fechas y así ver el avance evolutivo del comportamiento de la resistencia del concreto.

Obtener un concreto de alta resistencia con $f'c \geq 900 \text{ kg/cm}^2$ bajo diseños experimentales: patrón, patrón más aditivo (Superplastificante) y adiciones (Microsílice), usando agregados de la cantera Buenos Aires del río Huallaga.

Determinar la dosificación adecuada del aditivo superplastificante y de la adición Microsílice para lograr el objetivo principal de esta investigación.

Optimizar costos y materiales con respecto al diseño del concreto de alta resistencia $f'c=900 \text{ kg/cm}^2$.

2.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de Investigación, se ha realizado con la finalidad de poder contar con un diseño de un Concreto de Alta Resistencia (CAR) de un $f'c= 900 \text{ kg/cm}^2$ producido con insumos mayormente locales (agregados) de fácil disponibilidad y obtención. Así como, permitirá tener a la mano las especificaciones técnicas para la

producción de este material, que ayudará para estar a la altura de los nuevos avances tecnológicos, ayudando a incrementar la libertad del diseño así como mejorar la productividad y la rentabilidad del mismo; permitiendo al mismo tiempo, satisfacer las demandas y exigencias actuales del mercado.

El escaso conocimiento de la importancia, de los beneficios y propiedades al usar un CAR, han frenado la evolución de la infraestructura regional y nacional, caracterizándonos por el uso de concretos ordinarios que nos limitan a la hora de diseñar e impiden proyectarnos al nivel actual de las edificaciones del primer mundo, por tal motivo la creación de un CAR de un $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$, modestamente, pretende aperturar un nuevo enfoque en la industria de la construcción, incrementando el uso de este producto, dando a conocer a la industria de la construcción regional algunas bondades relacionadas a este tipo de concreto. Es decir, sus características, ventajas, aplicaciones, materiales a utilizar, ensayos a realizarse (equipo, proceso e interpretación y sistematización de resultados) para la obtención de este producto.

Concretamente considero que esta investigación tiene las siguientes justificaciones:

2.3.1 Justificación teórica o temática: Porque permite dar a conocer el desarrollo, aplicación y beneficios del concreto de alta resistencia (CAR); sirviéndonos como una herramienta importante para proyectarnos y estar a la altura de los nuevos avances tecnológicos y nuevos retos estructurales. Esta justificación está basada en lo siguiente:

Aplicación de teorías modernas de diseños de concretos de alta resistencia.

Diseño de mezclas y uso de investigaciones existentes sobre diseños realizados en la región y/o país.

Teoría sobre la aplicación de adiciones y aditivos.

2.3.2 Justificación metodológica: Porque proporciona un nuevo método, que servirá como guía y nos brinda las especificaciones técnicas para la obtención de un concreto de alta resistencia de un $f'c \geq 900 \text{ kg/cm}^2$, el mismo que aportará un material

importante, capaz de solucionar las exigencias estructurales y de diseño que cada día van surgiendo y que son imposibles de solucionar con concretos ordinarios.

2.3.3 Justificación de viabilidad: Porque el contar con esta investigación, ayudará a la viabilidad de megaproyectos de inversión por la reducción de costos y tiempos en investigaciones previas.

2.3.4 Justificación práctica: Porque demuestra que si es posible alcanzar tal resistencia con el uso de insumos locales, lo que permitirá la libertad de diseño, generando la creación de estructuras no convencionales, modernas y de gran magnitud, debido a sus propiedades físicas y mecánicas.

2.4 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En esta investigación se presentan las siguientes limitaciones:

Se limitará a establecer especificaciones técnicas básicas para la creación de un concreto de alta resistencia de $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$ solo para la región San Martín, especialmente para la ciudad de Tarapoto.

Se limitará al uso de materiales locales, tales como los agregados gruesos y finos, que procederán de la cantera Buenos Aires, margen izquierda del río Huallaga en el Distrito de Buenos Aires de la Provincia de Picota, Región de San Martín.

A tomar como base el método de diseño propuesto por el comité ACI 211.4 y experiencias e investigaciones nacionales y locales como fuentes bibliográficas principales para el diseño.

A realizar los ensayos de compresión en laboratorios fuera de la región (Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería), debido a la carencia de la máquina para ensayo uniaxial de resistencia a la compresión en los laboratorios locales.

Se limitará a un periodo de 90 días para la investigación y realización de ensayos experimentales; y a un presupuesto de 14 737.70 nuevos soles para todo el proyecto.

A la creación de tres diseños: un concreto Patrón (**C°P**), un concreto con aditivo (**C°SP**) y un concreto con aditivo y adición de microsilíce (**MS9.5**)

A la creación total de 12 probetas cilíndricas de concreto (4"x8") por diseño de mezclas para realizar las pruebas de resistencia a la compresión a edades de 3, 7, 28 y 56 días, 3 por cada fecha; amparándose en la Norma ACI 318.08.

2.5 MARCO TEÓRICO

2.5.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la realización del presente proyecto se ha revisado material bibliográfico e investigaciones encontradas y realizadas anteriormente por otros investigadores, permitiéndonos tomar nota de antecedentes y resultados, que deben considerarse para los fines más convenientes, siendo como sigue:

Según **E. Rivva López**, el desarrollo del denominado "concreto de alta resistencia" ha sido gradual a lo largo de las diferentes épocas y etapas de la evolución del concreto. Modificándose la definición de alta resistencia con el paso de los años, resumiéndole así:

A mediados del siglo pasado, concretos de un $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ obtenidos a los 28 días se consideraban como de alta resistencia (hoy día, este valor es considerado normal); en la década del 60 inició su uso comercialmente, en EE.UU. y Japón, concretos con resistencias a la compresión de 500 kg/cm^2 a los 28 días. Para la década del 70 se alcanzó concretos del orden de 600 kg/cm^2 como resistencia a la compresión a los 28 días. Para el año 2000 se alcanzó un concreto con una resistencia a la compresión del orden 1400 kg/cm^2 a los 54 días.

Según el Boletín Técnico dado por la **Asocem**, la primera construcción en concreto de alta resistencia se realizó hace poco más de 50 años, por la Waterways Experimental Station de la U.S.A. Army Force, en unos silos subterráneos para las Fuerzas Aéreas; dicho concreto tenía una resistencia de 700 kg/cm^2 .

Evidenciando su empleo inicialmente en la ciudad de Chicago, debido a diversos factores, tales como su código de construcción que permitía secciones reducidas en

elementos de concreto, la presencia de compañías de pre-mezclado innovadoras y además de ser sede de laboratorios de Protland Cement Asociación.

Rivva López, nos confirma el desarrollo de su aplicación, el cual afirma que por muchos años, concretos con resistencias en compresión en exceso de 400 kg/cm^2 a los 28 días solo eran disponibles en muy pocas localidades, abriéndose paso cada vez más en la industria de la construcción que cada vez se hace más exigente y donde surgen más problemas difíciles de solucionar con concretos normales, motivando lentamente pero en forma continua su ampliación del valor de la resistencia y de su aplicación, logrando actualmente su uso en muchas partes del mundo.

En el Perú a nivel de laboratorio ya se producen concretos con resistencias superiores a 1400 kg/cm^2 a los 54 días (en nuestra región no se ha llegado a superar concretos de resistencia mayores o iguales a los 900 kg/cm^2) y, en obra, normalmente concretos de más de 700 kg/cm^2 .

Teniendo como antecedentes a nivel nacional el desarrollo de tesis realizadas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería como son: “Concreto de Alta Resistencia” de Jesús Breña en 1987, “Concreto de Alta Resistencia” de Máximo Aire Untireos en 1995, “Incorporación del Microsílice para la obtención de Concreto de Alta Resistencia, de Eddy Vargas Calle en 1995, etc.

Y como antecedentes locales tenemos las tesis realizadas por los entonces Bachilleres Mario García Torres con su tesis denominada “Diseño de concreto de alta resistencia $f'c=480 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto” - 2013, y Lelis Santa Cruz Burga con su “Diseño de concreto de alta resistencia $f'c=600 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto” - 2014.

El desarrollo del incremento de la resistencia del concreto ha sido gradual, por lo cual esta investigación pretende superar las resistencias a la compresión del concreto obtenidas anteriormente en la Región San Martín, cuyo objetivo es alcanzar el $f'c=900 \text{ kg/cm}^2$; que no representara un límite absoluto y que motivara a que las investigaciones futuras tengan como objetivos encontrar concretos con resistencias superiores.

Considerando por sobre todo que el reto que tenemos en nuestro país es, sin duda, empezar con el uso aplicativo de estos materiales por parte de los diseñadores, y con la regulación de los mismos en los códigos y reglamentos correspondientes, para lo cual las empresas pre mezcladoras deben garantizar su disposición, y los laboratorios, a su vez, deben ser capaces de llevar el control de calidad respectivo. Consideramos que existe actualmente la tecnología disponible para comenzar a utilizarlos; sólo basta dar el primer paso. Creemos que trabajos como éste contribuyen en parte a lograr tal propósito.

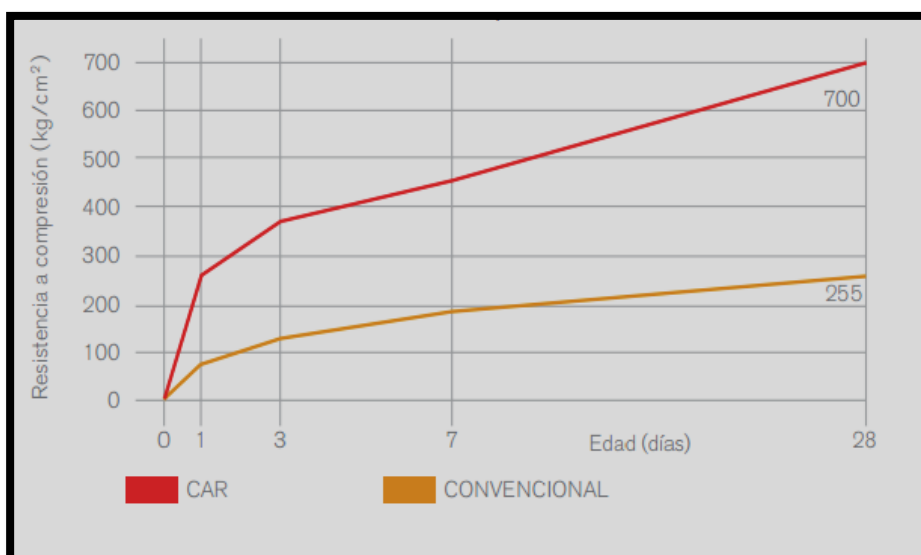
2.5.2 MARCO TEÓRICO O FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.5.2.1 Concreto de Alta Resistencia (CAR)

2.5.2.1.1 Definición

Según la **National Ready Mixed Concrete Association**, el CAR es un tipo de concreto (hormigón) de alto desempeño, que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especificada de 6000 psi (40 MPa) o más. La resistencia a la compresión se mide en cilindros de prueba de 6" x 12" (150 X 300 mm) o de 4" x 8" (100 X 200 mm), a los 56 o 90 días por lo general, o alguna otra edad especificada dependiendo su aplicación. La producción de concreto de alta resistencia requiere un mayor estudio así como un control de calidad más exigente en comparación con el concreto convencional.

Figura N° 03: Desarrollo de la resistencia a la compresión a diferentes edades.



Fuente: **Cemex**

2.5.2.1.2 ¿Para qué es necesario el concreto de alta resistencia?

La **National Ready Mixed Concrete Association**, nos detalla la importancia de este material:

Para colocar el concreto en servicio a una edad mucho menor, por ejemplo dar tráfico a pavimentos a 3 días de su colocación.

Figura N° 04: Pavimento rígido.



Fuente: **Civilgeeks**

Para construir edificios altos reduciendo la sección de las columnas e incrementando el espacio disponible.

Figura N° 05: Burj Khalifa



Fuente: **Gentside**

Para construir superestructuras de puentes de mucha luz y para mejorar la durabilidad de sus elementos.

Figura N° 06: Viaducto de Millau.



Fuente: **google imágenes**

Para satisfacer necesidades específicas de ciertas aplicaciones especiales como por ejemplo durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la flexión. Entre algunas de dichas aplicaciones se cuentan presas, cubiertas de graderías, cimentaciones marinas, parqueaderos, y pisos industriales de tráfico pesado.

Figura N° 07: Presa de almendra (España).



Fuente: **Wikipedia**

2.5.2.1.3 Usos:

De acuerdo a lo establecido en la ficha técnica dada por **CEMEX**, establece que por sus características mecánicas mejoradas, el concreto de alta resistencia es ideal para construir:

Muros de rigidez, columnas y trabes en edificios de oficinas, departamentos, centros comerciales, hoteles y rascacielos.

Trabes de gran claro presforzadas.

Estructuras costeras, sanitarias y militares, etc.

Bóvedas de seguridad.

Elementos prefabricados.

Cimentaciones.

Rivva López, establece las siguientes utilizaciones exitosas de acuerdo a experiencias alcanzadas en otros países:

En la obtención de alta resistencia a edad temprana para permitir una rápida transmisión del esfuerzo del acero de presfuerzo al concreto o para permitir un rápido desmolde de elementos prefabricados.

Aplicación excelente en la elaboración de elementos prefabricados, durmientes y pilotes de concreto reforzado o prefabricado.

En concretos de alta resistencia última, con el fin de permitir que dichos concretos soporten grandes cargas axiales en su aplicación final.

En columnas y muros de cortante de edificios de gran altura.

Para construir o reparar áreas que requieran entrar en servicio a corto plazo.

Uno de los principales usos en la industria de la construcción es a través de los elementos prefabricados, tal es el caso de los trabes de gran claro presforzadas, que como se muestran a continuación, pueden llegar a cubrir grandes claros:

Figura N° 08: Trabes de gran claro en uso.



Fuente: **Grupogic**

2.5.2.1.4 Ventajas y desventajas

2.5.2.1.4.1 Ventajas:

De acuerdo a lo establecido en la ficha técnica dada por **CEMEX**, tenemos las siguientes ventajas:

Mejora la protección contra la corrosión del acero de refuerzo.

La estructura tiene un menor costo en comparación con otras diseñadas en acero.

Incremento del área rentable (consecuencia de la reducción de secciones).

Por su consistencia es posible bombearlo a grandes alturas.

Posee alta fluidez que hace posible su colocación aún en zonas congestionadas de acero de refuerzo.

Posible reducción de la cuantía de acero de refuerzo en columnas.

Posible reducción del proporcionamiento del acero de refuerzo según el proyecto Alto módulo de elasticidad.

Usado en losas, permite una remoción temprana de la cimbra de contacto y permite incrementar el espaciamiento del re apuntalamiento.

Menores pérdidas de presfuerzos.

Incrementa la capacidad máxima a flexión en trabes de sección sólida.

Este concreto cuenta con características sustentables.

La **UNICON**, complementa esta información basado en su experiencia, cuyas ventajas mas sobresalientes percibidas por ellos son:

Debido a la estabilidad química, se requiere mucho menos mantenimiento para puentes de concreto que para puentes de acero.

La trabajabilidad mejora, así como la baja relación agua/cemento, mejora la impermeabilidad del concreto.

Mayor rendimiento en la ejecución de obras. Permite mayor rotación de encofrados y menos tiempo de uso.

2.5.2.1.4.2 Desventajas:

Según **EDHER HUINCHO SALVATIERRA**, las desventajas de estos concretos pueden ser:

Necesidad de usar materiales y componentes de alta calidad.

Requiere un control de calidad muy exigente

Requiere un curado muy cuidadoso al poseer relaciones agua cemento muy bajas.

El concreto que haya empezado con el proceso de fraguado no debe vibrarse, ni mezclarse, ni utilizarse en caso de demoras en obra.

2.5.2.1.5 Precauciones

Según la ficha técnica sobre Concreto de alta resistencia presentada por **UNICON**, tenemos las siguientes precauciones a considerar:

Requiere excelentes condiciones de curado.

Cualquier adición de agua, cemento o aditivo en obra alterará su diseño, perjudicando la calidad del concreto.

El concreto que haya empezado con el proceso de fraguado no debe vibrarse, ni mezclarse, ni utilizarse en caso de demoras de obra.

Se deben cumplir estrictamente todas las normas referentes a manejo, protección y control del concreto.

Se puede bombear verticalmente solo hasta 25 metros de altura. Para alturas superiores se requiere el uso de aditivo ayudante de bombeo.

2.5.2.1.6 Características del Concreto de Alta Resistencia

Según el boletín técnico N° 39 presentado por la **ASOCEM**, destaca las siguientes características generales:

2.5.2.1.6.1 En su producción:

Básicamente, los concretos de alta resistencia se producen controlando los siguientes parámetros:

Morteros de la más alta resistencia posible.

Maximizar adherencia entre el agregado grueso y el mortero.

Seleccionar los agregados con la más alta resistencia posible.

El diseño de los concretos de alta resistencia se caracteriza por altos dosajes de cemento, entre 400 a 600 kg/cm^3 , la utilización de puzolanas, escorias y especialmente humo de sílice y relaciones a/c el orden del 0.3.

Las arenas, generalmente gruesas, de un módulo de fineza de 3 a 3.2; los agregados gruesos, muy resistentes, de tamaño máximo de ½ a 1 pulgada. Para su puesta en obra se introducen superplastificantes y retardadores de fragua.

La composición del concreto utilizado en la construcción del edificio River Plaza en Chicago, fue la siguiente:

Material	Kg/m³
Agua	196
Cemento	506
Puzolana (como ceniza volante)	60
Agregado grueso (1/2 a 1 pulgadas)	1,030
Arena	617

Se utilizaron aditivos y/o reductores de agua. El concreto tuvo un asentamiento de 115 mm. La resistencia alcanzada a los 28 días fue de 650 kg/cm² y a los 90 días de 790 kg/cm².

2.5.2.1.6.2 En el conocimiento alcanzado:

Las importantes experimentaciones desarrolladas en diversos centros de investigación, han permitido obtener un conocimiento básico del comportamiento de los concretos de alta resistencia. Sin embargo, existe consenso que para los efectos del diseño, se requiere mayor información en materia de esfuerzo cortante, tensión diagonal, torsión, adherencia y anclaje.

En regiones sujetas a la acción de sismos, la utilización del concreto de alta resistencia requiere de una mayor investigación en los aspectos de ductilidad, confinamiento y longitud del refuerzo.

Además, deberá continuarse la investigación en los problemas de la corrosión de armaduras, la compactación del concreto, las deformaciones de escurrimiento plástico y de fatiga y los procedimientos del control en obra.

2.5.2.1.6.3 En economía relativa:

Los concretos de alta resistencia son más caros por m³ que los concretos tradicionales. Sin embargo, son menos costosos en un análisis final. En efecto, las estructuras son más ligeras, necesitan menos armadura y la durabilidad es más grande.

Estudios efectuados en 1975, por los ingenieros William Schmidt y Edward S. Hoffman, con oficina en Chicago, mostraron cuadros que indicaban que el costo de soportar 100,000 libras (445 kg) de carga de servicio llegaba a US\$ 5.02 por piso con concreto de 6000 psi ($420/cm^2$); US\$ 4.21 con concreto de 7500 psi ($525/cm^2$); y bajaba a US\$ 3.65 con concreto de 9000 psi ($63/cm^2$), informando que no tenían dificultad de obtener estos valores en el área de Chicago.

En 1976, Architectural Record señaló que “ una columna de 30 x 30 pulgadas de concreto de 6000 psi podía requerir una cantidad de acero de refuerzo igual al 4% del área de la columna para una carga dada, mientras que la misma columna con concreto de 9000 psi requeriría sólo 1 % de acero - lo mínimo permitido por el código”.

En la construcción del Water Tower Plaza (1975), edificio de 79 pisos, la economía obtenida significó 60% sobre el volumen de concreto armado; 36% sobre la superficie de encofrado y una ganancia de 5% sobre la superficie útil del edificio: $6,600 m^2$.

2.5.2.2 Propiedades de los Concretos de Alta Resistencia

Rivva López, señala que los CAR's poseen características y propiedades que son diferentes de los concretos ordinarios o de menor resistencia. Haciéndole distintos los diversos factores como las diferentes condiciones ambientales, los cambios internos resultantes de las cargas aplicadas y términos más cortos.

Directamente relacionadas a esas diferencias internas están las distinciones en las propiedades mecánicas, las cuales deberán ser reconocidas por el diseñador. Estas distinciones se incrementan significativamente conforme aumenta la resistencia.

Rivva López, en su libro denominado Concreto de Alta Resistencia, nos muestra las diversas propiedades investigadas del concreto de alta resistencia, propiedades importantes, pero que no tienen más trascendencia para el desarrollo de esta investigación, propiedades como: Resistencia a la tracción por compresión diametral, resistencia a la flexión, resistencia a la tensión, resistencia a la fatiga, módulo elástico, etc.; por tal motivo se consideró dejarlas nombradas. Sin embargo, se detallara las propiedades del concreto que nos ayudaron a determinar las características y

propiedades de resistencia a la compresión del concreto fabricado, como va a continuación:

2.5.2.2.1 Comportamiento esfuerzo – deformación (E-D) bajo compresión uniaxial

Rivva Lopez, nos señala que esta es una de las propiedades importantes del concreto de alta resistencia en cuanto al diseño por flexión es la relación Esfuerzo-Deformación (E-D) en compresión. Se reconoce que para concretos de alta resistencia, la forma de la parte ascendente de la curva es más lineal y con mayor pendiente. La pendiente de la parte descendente es también mayor, en comparación con la que corresponde a un concreto de consistencia normal.

Para **Rivva López**, el análisis E-D se realiza como sigue:

2.5.2.2.1.1 Esfuerzo-deformación longitudinal:

Para CAR las gráficas esfuerzo-deformación bajo compresión uniaxial de los concretos presentan en la rama ascendente de la curva esfuerzo-deformación un tramo en el que la deformación en el máximo esfuerzo es más lineal y alta, y donde los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones, haciéndose cada vez mayores a medida que el nivel de esfuerzo máximo es más grande. A su vez, las deformaciones correspondientes al esfuerzo máximo se incrementan también con el nivel de resistencia. Además, el módulo de elasticidad se incrementa también en el nivel de resistencia.

En relación con la rama descendente, la pendiente de la parte descendente de la curva será más parada para los concretos de alta resistencia, y la deformación última se reduce en dicho nivel. Para obtener la parte descendente de la curva E-D, es generalmente necesario evitar la interacción del sistema espécimen-ensayo, ello es más difícil de realizar para CAR.

Los concretos de alta resistencia exhiben menor agrietamiento interno que los concretos de baja resistencia para una deformación axial impuesta. Como resultado el incremento relativo en la deformación lateral es menor para los CAR. La menor expansión lateral relativa durante el rango inelástico puede dar lugar a que los efectos

de los esfuerzos triaxiales deberán ser proporcionalmente diferentes para los concretos de alta resistencia. Se ha observado que la efectividad del refuerzo espiral es menor para los CAR.

2.5.2.2.1.2 Esfuerzo-deformación Transversal

La relación E-D transversal presenta un tramo en el que los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones también bastante largo y con una pendiente que se incrementa con el nivel de resistencia máxima. Lo anterior trae como consecuencia que la relación de Poisson para los CAR no sea muy diferente a la de los concretos de resistencia normal y las deformaciones transversales se vuelvan significativas a porcentajes elevados del esfuerzo máximo, en la etapa de comportamiento inelástico.

2.5.2.2.2 Unidad de peso

Los valores moderados de las unidades de pesos de los concretos de alta resistencia son ligeramente más altos que los del concreto de bajas resistencia, realizados con los mismos materiales.

2.5.2.2.3 Propiedades térmicas

Carlos E. Morataya Córdova, establece que las propiedades térmicas del concreto dependen de diversos factores tales como cantidad de cemento, relación agua/cemento, utilización de agregados ligeros y de la cantidad de aire incorporado.

Mientras mayor sea la relación agua/cemento, más aislante es la estructura, de la misma manera, mientras mayor es la incorporación de agregados ligeros aislantes, mayor es el aislamiento térmico.

Las propiedades térmicas de estos concretos de alta resistencia caen dentro del rango aproximado que el de los concretos de resistencia baja. Las propiedades térmicas del concreto endurecido que tienen importancia son tales como la conductividad térmica, calor específico, difusividad térmica y el coeficiente de expansión térmica. La conductividad térmica es la razón a la que pasa el calor a través de un material de área y espesores unitarios, en donde se tiene un cambio unitario en la temperatura entre las dos caras del material. El levantamiento de temperatura dentro del concreto debido a la hidratación depende del volumen de cemento, proporción de agua/cemento, el tamaño

del miembro, temperatura del ambiente, el entorno, etc. El levantamiento de calor de concretos de alta resistencia será aproximadamente 6 a 8 grados centígrados por 59 kg/cm³ de cemento.

2.5.2.2.4 Ductilidad

Rivva López, nos explica que un CAR es menos dúctil que un concreto de resistencia normal. Sin embargo, no existe a la fecha un método racional que determine de manera cuantitativa la ductilidad del concreto.

De una manera burda se puede expresar cómo la pendiente de la rama descendente de la curva esfuerzo-deformación en compresión axial. Para un material totalmente plástico la pendiente será cero, mientras que en un material totalmente frágil la pendiente será infinita, deduciendo que un CAR es a la vez más frágil que un concreto ordinario (esto no cumple para elementos reforzados).

2.5.2.2.5 Resistencia con relación de edad

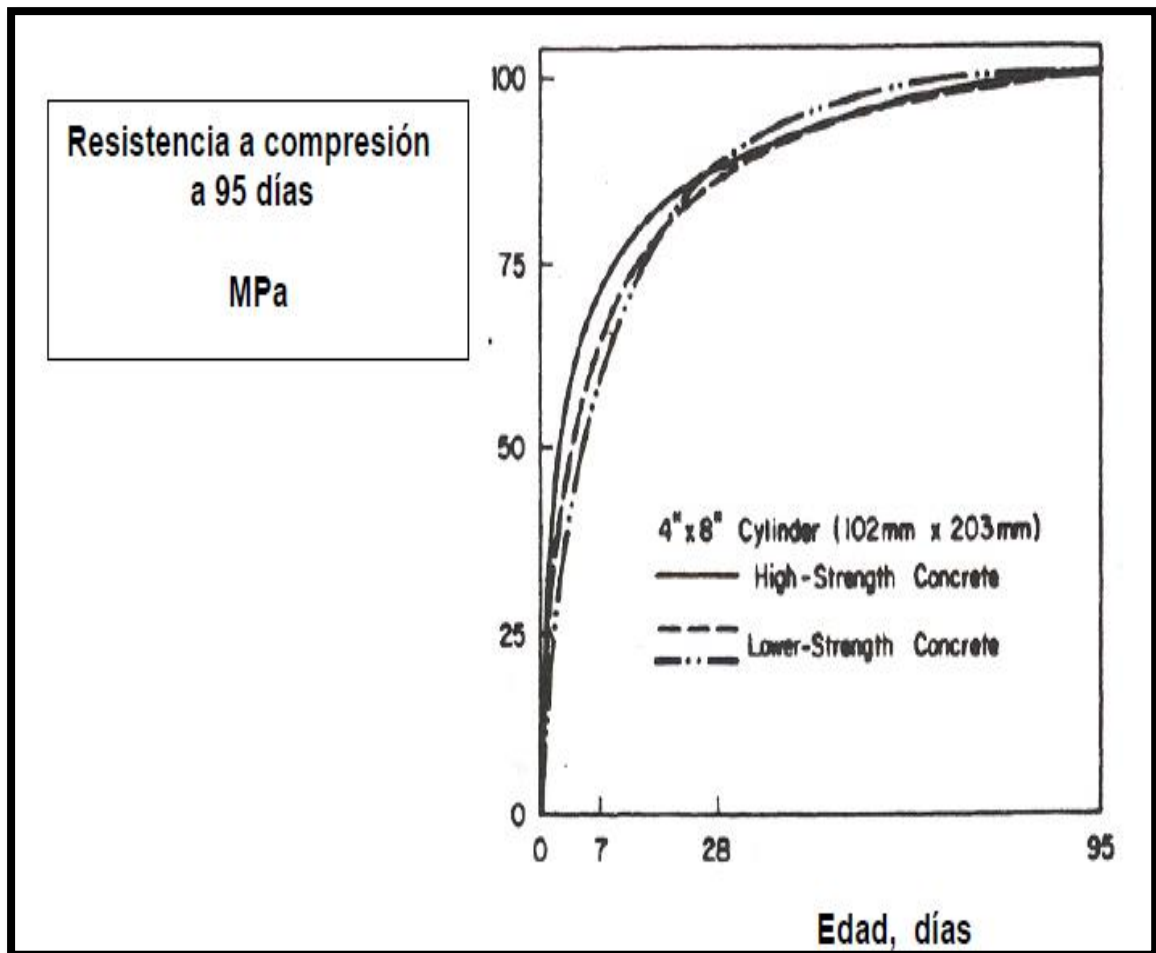
Morataya Córdova, señala que el concreto de alta resistencia muestra una proporción más alta de aumento de resistencia a edades tempranas comparadas con concreto de resistencias más bajas, pero en edades más tarde, la diferencia no está en la resistencia del concreto y varía entre 0.70 a 0.75 para concretos de resistencia más bajo, mientras otros investigadores encontraron proporciones típicas de 7 días a 95 días la resistencia varía de 0.60 para resistencia baja, 0.65 para resistencias medias, y 0.73 para resistencias altas de concreto.

Probablemente, la proporción más alta de desarrollo de resistencia de estos concretos a edades tempranas es causada a través de, primero, un aumento en la temperatura interior del curado de los cilindros de concreto debido a un calor más alto de hidratación y, segundo, por la más corta distancia entre las partículas hidratadas, debido a las bajas proporciones de la relación agua/cemento.

Rivva López, señala que algunos investigadores sostienen que debido a los altos consumos de cemento que requieren los CAR, resulta más favorable el empleo de cementos puzolánicos, ya que de esta forma se reduce el calor de hidratación del

concreto, en detrimento de la ganancia de resistencias a edades tempranas. Sin embargo, un gran número de estructuras entran en servicio a edades avanzadas, por lo que, para esos casos el empleo de cementos puzolánicos no constituye una limitación o ventaja.

Figura N°09: Resistencia a compresión vrs edad concreto.



Referencia: **ACI**

La expresión que relaciona la resistencia en compresión (f_c) con el tiempo (t) en función de la resistencia a los 28 días (f'_c) se expresa como:

$$f_c = t (f'_c) / 4.26 + 0.83 (t) \dots \dots \dots \text{Ecuac. 01}$$

Estando f_c y f'_c , expresadas en kg/cm^2 y t en días.

Figura N°10: Ensayo para medir la resistencia a la compresión de las probetas o testigos de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.2.6 Módulo de elasticidad.

Carlos E. Morataya Córdova, señala que en 1934, se informó de los valores por el módulo de elasticidad determinado, como la cuesta de la tangente a la curva esfuerzo-deformación uniaxial de compresión a 25 por ciento de tensión del máximo de 29GPa a 36GPa para hormigones que tienen resistencias a compresión que van de 69MPa a 76Mpa.

Muchos otros investigadores han informado valores por el módulo de elasticidad de concreto de alta resistencia solidifica del orden de 31 a 45 GPa, que dependen principalmente del método de determinar el módulo. Una comparación de valores determinados experimentalmente para el módulo de elasticidad son aquellos por la expresión dada de ACI 318, Sección 8.5 para concretos de resistencia baja, y se basó en un peso de la unidad seco de 2346 kg/cm^3 .

Una correlación entre el módulo de elasticidad E_c y el f_c' de fuerza de compresión para concretos de peso normales se informó en referencias como:

Figura N° 11: Cálculo módulo de elasticidad

$$E_c = 40000 \sqrt{f'_c} + 1000000 \text{ psi}$$

Para $3000 \text{ psi} \leq f'_c \leq 12000 \text{ psi}$

$$E_c = 3320 \sqrt{f'_c} + 6900 \text{ MPa}$$

Para $21 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 83 \text{ MPa}$

Donde:

E_c = Módulo de elasticidad

f'_c = Resistencia a compresión del concreto

Referencia: **ACI**

En el caso de estos concretos con una alta resistencia a compresión muy temprana, existe la posibilidad de que, a causa de una cantidad limitada de hidratación, la adherencia entre el agregado y la matriz no se desarrolle proporcionalmente. En consecuencia, con resistencia alta a edades muy tempranas, la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad es probable que sea más bajo de lo que se esperaría de las relaciones usuales entre estas propiedades y la resistencia a compresión. La deformación elástica del concreto es de interés particular, puesto que el módulo de elasticidad de la pasta muy resistente de cemento endurecido y del agregado difieren menos uno de otro que en el concreto de resistencia media, además porque el concreto de alta resistencia es más monolítico y la resistencia de la interfase de agregado y matriz es más alta.

Rivva López, comenta sobre los valores experimentales determinados para el módulo de elasticidad dados en las normas ACI 318, los cuales están referidos solo a concretos de baja resistencia u ordinarios, determinando que esta sobreestima el módulo de elasticidad para concretos con resistencia en compresión sobre los 40 Mpa o concretos de alta resistencia. Estableciendo en uno de sus párrafos lo dicho por algunos investigadores que dan para CAR valores límites del coeficiente entre 13000 y 14600, recalando que es necesario realizar estudios saneados para poder establecer, en las diferentes condiciones cual sería el coeficiente a ser aplicado a los 90 días para CAR por encima de los 1000 kg/cm^2 .

En conclusión nos da a entender que para realizar el empleo de los CAR en el Perú debe verificarse para cada caso particular, es decir ser verificados a la luz de tecnologías modernas.

2.5.2.3 Materiales empleados en la mezcla

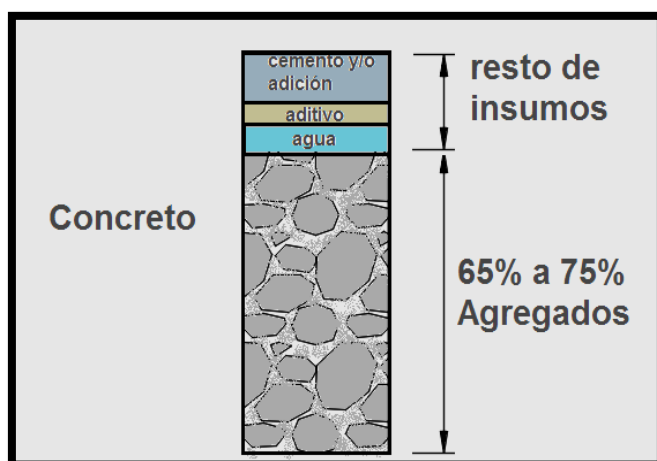
2.5.2.3.1 Agregados

Morataya Córdova, lo define como tales a los materiales pétreos inertes resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas.

El Ingeniero E. Huincho Salvatierra, nos especifica que los agregados a utilizar en la investigación constituirán en promedio entre 65% y 75% del volumen total de una mezcla de concreto, por tanto, es de mucha importancia conocer sus características y propiedades; que proporcionaran las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia, es decir, de sus propiedades físicas y químicas.

El agregado fino y grueso a utilizar en esta investigación provendrá de la cantera **Buenos Aires**; para lo cual se realizará un ensayo de materiales y determinar si cumplen con las **NTP 400.037** y la Noma **ASTM C33**. Estos deben estar libres de suciedad, ser durables, y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento. Se clasifican en: agregado grueso (piedrín o grava) y agregado fino (arena).

Figura N°12: Representación de la cantidad de insumos que entran en la elaboración del concreto.



Fuente: Elaboración propia.

2.5.2.3.1.1 Propiedades físicas de los agregados

Conocer las propiedades físicas de los agregados es muy importante para conocer el comportamiento del concreto elaborado con estos agregados, además de tener en cuenta un control de calidad estricto tanto en cantera como en laboratorio, ya que el concreto de alta resistencia es altamente susceptible de los cambios en su constitución.

Peso Unitario de los agregados

El Ingeniero E. Huincho Salvatierra, lo denomina así al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Este valor es requerido cuando se trata de clasificar agregados ligeros o pesados y en el caso de realizar proporciones de mezcla de concreto por volumen. El peso unitario vaya de acuerdo con las condiciones intrínsecas, como la forma, granulometría y tamaño máximo. Así mismo, depende de factores externos como la relación de tamaño máximo con el volumen del recipiente utilizado para realizar el ensayo, la consolidación impuesta, la forma de colocación, etc. De acuerdo con el tipo de consolidación hay dos tipos de peso unitario: suelto y compactado. Determinados por la **NTP 400.017**.

Peso específico

El Ingeniero E. Huincho Salvatierra, nos detalla que el peso específico de los agregados adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que se recomienda realizar pruebas adicionales.

Los pesos específicos del agregado fino y grueso a utilizar en esta investigación serán determinados según la **NTP 400.022**.

Absorción

El Ingeniero E. Huincho Salvatierra, lo define como la capacidad que tienen los agregados de atrapar las moléculas de agua en sus poros, producido por la capilaridad,

es la absorción. Su influencia radica en el aporte de agua al concreto haciendo variar sus propiedades importantes como la resistencia y la trabajabilidad; y se determinaran de acuerdo con la **NTP 400.022**.

Contenido de humedad: La cantidad de agua retenida por las partículas del agregado es el contenido de humedad, esta propiedad varía en función del tiempo y condiciones ambientales, es por esto por lo que para la investigación el contenido de humedad debe determinarse para cada diseño de mezcla según la **NTP 400.016**.

Granulometría de los agregados

Agregado fino: Millones Prado, lo define como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Normas **NTP 400.037** ó **ASTM C 33**.

E. Rivva López, nos señala que la granulometría óptima del agregado fino está determinada más por su efecto en el requerimiento de agua, que por sus características físicas. Siendo recomendables los perfiles redondeados y las texturas suavizadas por requerir menor cantidad de agua de mezclado, siendo por ello preferibles en CAR.

Se recomienda emplear una arena con módulo de fineza cercano a 3.0 en un rango ± 0.3 , dado que puede contribuir a producir concretos de adecuada trabajabilidad y resistencia a la compresión. Para el CAR donde se utilizó microsílice, las cantidades de material que pasen las mallas N° 50 y N° 100 deben ser mantenidas bajas, pero dentro de los límites indicados en la Norma ASTM C 33, debiendo evitarse la presencia de mica y arcilla.

La granulometría del agregado fino no tiene efecto en las resistencias iniciales. En las edades finales con más altos niveles de resistencia. Las mezclas con granulometría discontinua presentan menores resistencias que las mezclas estándar.

Desde el punto de vista del concreto se requiere limitar los finos en la arena a un máximo del 10% (un incremento en el material que pasa la malla N° 200 reduce la resistencia a la compresión).

Agregado Grueso: E. Rivva López, nos recomienda que el agregado grueso proceda de rocas ígneas plutónicas de grano fino o rocas ígneas de caliza triturada, que posean una dureza no menor de 7 y una resistencia a la compresión no menor del doble de la resistencia que se desea alcanzar en el concreto, capacidad de absorción menor del 1.0%.

Para obtener una óptima resistencia en compresión, con un adecuado contenido del material cementante, que incluye microsilices, y una baja relación agua-cemento, se ha determinado que el tamaño máximo del agregado deberá ser mantenido en un mínimo, el orden de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{8}$ ". No es necesario emplear agregados de $\frac{3}{4}$ " y 1".

También debe considerarse que agregados de menor tamaño contribuyen a producir concretos de más alta resistencia debido a su menor concentración, alrededor de las partículas, de esfuerzos originados por una diferencia entre los módulos de elasticidad de la pasta y el agregado.

Se recomienda partículas de perfil angular, textura rugosa, limpia, dura, resistente, poco absorbente, de preferencia sin y en el peor de los casos con un mínimo de partículas chatas; ya que genera mayor adherencia mecánica produciendo mayores resistencias que lo que generaría la grava redondeada. La angulosidad acentuada deberá ser evitada por requerir altos contenidos de agua y presentar reducciones en la trabajabilidad, generalmente se logra eso usando piedra triturada.

El agregado de origen calizo, triturado, con peso específico del orden de 2.65 y absorción del orden máximo del 1% se considera lo más conveniente.

Según **NTP 400.037**, la granulometría del agregado grueso, será determinada de acuerdo con lo estipulado en la **NTP 400.012**, deberá cumplir con los límites de la Tabla 2 de esa norma. Esta también proporciona los límites del Huso a emplear, en concordancia con las normas **ASTM C 33**.

2.5.2.3.2 Cemento

Rivva López, define como cementos a los materiales pulverizados, que poseen la propiedad que por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta

conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como el aire, y formar compuestos estables. Quedan excluidas de estas definiciones las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos

El cemento portland normal es el producto obtenido por la pulverización del clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que no excedan el 1% en peso del total y que la Norma correspondiente determine que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker.

Existen cinco tipos de cemento Portland, para diversos usos, los cuales son:

Tipo I: Cemento Portland estándar: para concreto de uso normal, sin propiedades especiales.

Tipo II: Cemento Portland modificado: para concretos expuestos a ataques moderados de sulfatos, como en suelos y aguas subterráneas, que tienen un bajo contenido de sulfatos. Se usa en estructuras masivas, en donde la temperatura debe ser controlada durante el proceso de hidratación. Retarda el proceso de hidratación.

Tipo III: Cemento Portland de alta resistencia a edades tempranas: es usado cuando se requiere resistencia a edades tempranas y en lugares fríos.

Tipo IV: Cemento Portland de bajo calor: cuando el calor durante el proceso de hidratación debe ser mínimo, por ejemplo, las presas de concreto donde se colocan grandes volúmenes de concreto.

Tipo V: Cemento Portland de alta resistencia a sulfatos: se usa en concreto que estará expuesto a altas concentraciones de sulfatos, por ejemplo: tuberías de aguas residuales, plantas de tratamientos de aguas residuales etc.

El cemento portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la Norma **ASTM C 150** para los Tipos I, II, y V, los cuales se fabrican en el Perú. Alternativamente podrán emplearse los requisitos de la **NTP 334.009** para cementos.

2.5.2.3.3 Aditivos Químicos

Según la **National Ready Mixed Concrete Association**, los aditivos son sustancias químicas naturales o manufacturadas que se adicionan al concreto (hormigón) antes o durante el mezclado del mismo. Los aditivos más frecuentemente utilizados son los agentes incorporadores de aire, los reductores de agua, los retardantes y los acelerantes.

Son empleados para aportar propiedades especiales al concreto fresco o endurecido. Los aditivos pueden mejorar las características de durabilidad, trabajabilidad o resistencia de una mezcla de concreto. Los aditivos son utilizados para vencer difíciles situaciones de construcción, como son los vaciados (colados) en clima caliente o frío, los requerimientos de bombeado, los requerimientos de resistencias tempranas o las especificaciones de una relación agua/cemento muy baja.

Entre lo que respecta a esta investigación y guiados por la Norma **ITINTEC 339.086**, el aditivo químico a utilizar será el superplastificante, que describiré a continuación:

2.5.2.3.3.1 Superplastificante:

Huincho Salvatierra, nos explica que los superplastificantes también son conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango (Tipo “F” según NTP 334.088 y/o ASTM C-494), los cuales tienen por finalidad de reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua en la mezcla de concreto.

Rivva López, añade que la dosificación depende del tipo y marca del producto y se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante en cada caso. Su empleo permite reducir el agua en un 20% a 30%, aumentar la factibilidad de manejo, y aumentar la resistencia a edades tempranas y finales.

También nos hace mención de los superplastificantes de los tipos **ASTM C 494** tipos F y G, que proporcionan una alta resistencia, especialmente en las primeras 24 horas.

Recalcando que para realizar el mezclado óptimo del aditivo al cemento, es importante considerar tanto el tipo como la dosificación.

La **Asocem**, nos describe la Actividad de este aditivo sobre el concreto:

El primer efecto físico que se da al variar la relación a/c por la adición de un aditivo (superplastificante), es la fluidez de la mezcla al estado plástico, por efecto de variar la viscosidad de la pasta de cemento. Entre las partículas de cemento y los productos resultantes de su hidratación existen fuerzas de atracción y repulsión, las fuerzas de atracción, dan lugar a la formación de grumos.

La adición de pequeñas cantidades de productos orgánicos, reduce la atracción entre partículas y reduce a su vez la cantidad de agua en la mezcla.

Los aditivos reductores de agua reaccionan con los productos hidratados formando una capa alrededor del cemento aislándolo de otras partículas de cemento con lo cual se reduce la fuerza de atracción.

En general los aditivos reductores de agua son aniónicos y confieren una carga negativa a las partículas de cemento, rechazándose mutuamente.

Los aditivos que se utilizan son:

Sales de Formaldehído Naftaleno-Sulfonato: Son polímeros que tienden a reducir la tensión superficial de su fase acuosa. Su uso está dirigido a producir aditivos superplastificantes porque incrementan la trabajabilidad y reducen la relación a/c.

Sales Formaldehído-Melamina-Sulfonato: Son polímeros de altos poderes plastificantes y reductores de agua, se le usa para producir aditivos superfluidificantes.

El aditivo superfluidificante se emplea en combinación con un reductor de agua de alta eficiencia y retardador del fraguado, para mejorar así la plasticidad del concreto y controlar el tiempo de fraguado de la mezcla, una excelente opción para climas cálidos y ambientes secos.

2.5.2.3.4 Adiciones Minerales

Morataya Córdova, nos menciona que se han utilizado en los concretos de alta resistencia adiciones minerales muy finas consistiendo éstas principalmente en cenizas volantes y microsílíce.

Por medio de estas adiciones minerales de extrema finura y químicamente reactivos, se logran llenar los microvacíos del empaquetamiento granular conformado por agregados y cemento, mejorando la compacidad del material y a la vez, las propiedades de la mezcla fresca.

Se deduce aquí que la cantidad de agua necesaria puede ser reducida mejorando la resistencia del hormigón. Por otra parte, estas adiciones reaccionan a mediano y largo plazo con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento Portland, dando como resultado compuestos de mucha mayor resistencia

En lo que respecta a esta investigación, el aditivo mineral a utilizar será el Microsílíce, que describiré a continuación:

2.5.2.3.4.1 Microsílíce

Morataya Córdova, nos habla del humo de sílice, llamado también microsílíce, y los aditivos que lo contienen han sido utilizados en concretos para propósitos estructurales, aplicaciones superficiales y como material de reparación en situaciones en donde se requiere resistencia a la abrasión y baja permeabilidad.

La microsílíce es una puzolana altamente reactiva que puede ser usada como aditivo, en una proporción del 5% - 15 %, por peso de cemento y puede aumentar significativamente la resistencia. Es utilizado con frecuencia con ceniza volante o cementos de escoria además del cemento Portland. La microsílíce es un material que se ofrece en diferentes formas: densificada, como una lechada o mezclada con cemento.

La microsílíce no densificada es muy voluminosa y polvorienta debido a su extrema finura. La que es en lechada contiene a grosso modo un 50 % de agua y cuando está en reposo necesita ser agitada para que el material no se gelifique o precipite. La

microsílice densificada (también llamada compactada) está disponible y se usa ampliamente y no contiene agua ni aditivos o químicos y no crea molestias a causa del polvo.

Rivva López, señala que el 93% de su composición es óxido de silicio (SiO_2). No contiene cloruros y puede utilizarse en concretos y morteros en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación del concreto. Como datos técnicos se tiene:

Apariencia: Gris claro a oscuro, dando una lechada de color negro.

Gravedad específica: 2.20 a 2.50 Ton/m^3 (2,200 – 2,500 Kg/m^3).

Superficie específica (Blaine): 200,000 cm^2/gr .

Partícula: tipo amorfo, de forma esférica.

Finura (diámetro promedio): 0.1 a 0.2 μm (micrómetro).

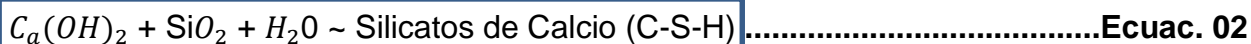
Para su uso, esta debe cumplir con la Norma **ASTM C1240**.

La **Asocem**, nos describe la Actividad Físico-Química de la Microsílice sobre el concreto de la siguiente manera:

La obtención de resistencias a la compresión del orden de los 1,000 Kg/cm^2 son posibles con la adición de microsílice en la mezcla; esto por su acción física y química, incrementa los sólidos en la pasta de cemento, colocándose en los espacios vacíos e incrementando la cohesividad y por su propiedad puzolánica, reacciona con el $\text{C}_a(\text{OH})_2$ libre, formando silicatos de calcio, con lo que se incrementa la resistencia a la compresión.

La microsílice posee la propiedad de una puzolana altamente activa, numerosos autores han venido investigando su reactividad química en las pastas cementicias encontrándose que se produce una significativa aceleración en la formación de silicatos de calcio hidratado al mismo tiempo que se produce la disminución del $\text{C}_a(\text{OH})_2$. El

mecanismo de acción química de la microsílice consiste en que las partículas finas de SiO_2 reaccionan con la cal liberada por la hidratación del cemento produciendo Silicatos de Calcio:



La velocidad a la cual la cal puede ser removida por la microsílice puede ocurrir desde las 4 horas de la hidratación o hasta después de 28 días, su comportamiento está directamente relacionado con la cantidad de SiO_2 presente, su tamaño, sus componentes, la disponibilidad de sílice activa, al parecer no influye el área superficial de sus partículas, sin embargo, se ha observado que la presencia excesiva del carbón sobre la superficie de las partículas de la microsílice retarda la reacción con la cal por reducir el área superficial disponible para reaccionar con el agua. Esto es aparentemente generado por componentes volátiles provenientes de carbono o astillas de madera depositados después de la formación de las micro esferas.

Cuando la alita C_3S se forma, libera $\text{C}_a(\text{OH})_2$, la cual reacciona con la microsílice; en diversos ensayos realizados al respecto se concuerda en que la presencia de la microsílice acelera la velocidad de reacción de la fase de la alita.

En ensayos realizados con componentes puros se ha observado que la microsílice también acelera la reacción de la estringita con la consiguiente conversión a monosulfatos.

En solución acuosa la microsílice desarrolla un gel rico en sílice en tiempos de 15 minutos a 1 hora, el cual posee propiedades aglomerantes consumiéndose la mayoría del agua disponible. Los silicatos de calcio anhidros son rodeados por el gel de sílice el cual reacciona variablemente desde diversas horas a diversos días, reaccionando con el $\text{C}_a(\text{OH})_2$ formando mas silicato de calcio. Como resultado se obtiene la formación de una estructura más rígida a tempranas edades que en las pastas normales.

A causa de la extrema finura de sus partículas tienen la capacidad de colocarse en los espacios vacíos formados en las interfases pasta-agregado, pasta-acero y los vacíos entre las partículas de cemento con lo que se incrementa la densidad de la pasta.

2.5.2.3.5 Agua

Rivva López, nos dice que el agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

La formación de gel

Permitir que el conjunto de la masa adquiriera las propiedades que:

En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma; y

En estado endurecido la conviertan en un producto de las propiedades y características deseadas (Curado).

Adicionalmente, el agua empleada no deberá contener sustancias que puedan producir efectos desfavorables sobre el fraguado, la resistencia o durabilidad, apariencia del concreto, o sobre los elementos metálicos embebidos en éste.

Según la investigación de **José Leandro**, nos describe detalladamente que el agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto, la presente sección pretende dar una visión generalizada acerca de las características que debe tener desde un punto de vista de la tecnología del concreto.

Definiciones:

Agua de mezclado: Es definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.

Agua de hidratación: Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel, es también conocida como agua no evaporable.

Agua evaporable: El agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel cemento cuya

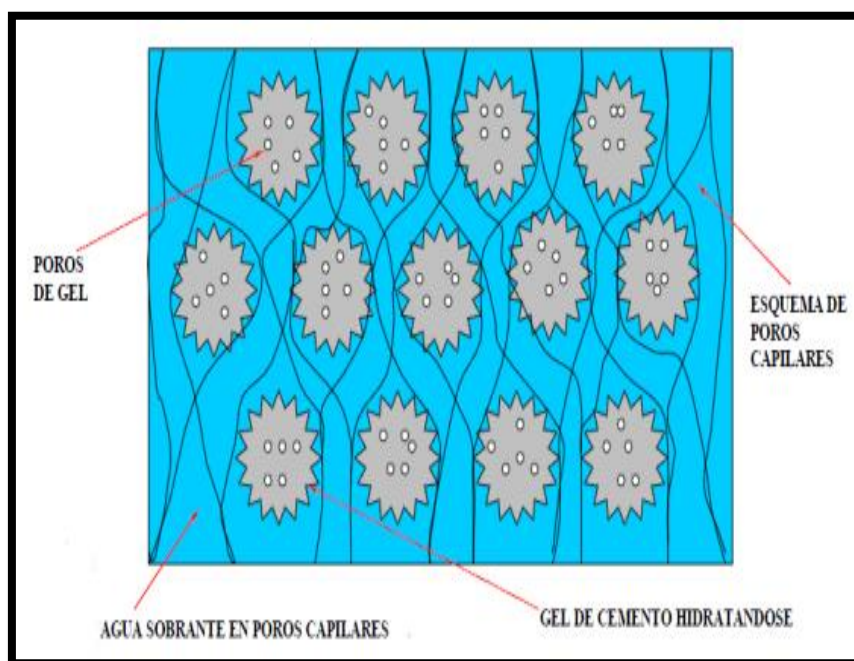
característica principal es un enorme desarrollo superficial interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída.

Agua de absorción: Es una capa molecular de agua que se halla fuertemente adherida a las superficies del gel por fuerzas intermoleculares de atracción.

Agua capilar: Es el agua que ocupa los poros capilares de la pasta, a distancias que suelen estar comprendidas en el intervalo de 30 a 10 Amstron, de manera que parte de ella está sujeta débilmente a la influencia de las fuerzas de superficie del gel.

Agua libre: Es la que se encuentra fuera de la influencia de las fuerzas de superficie, de tal modo que tiene completa movilidad y puede evaporarse con facilidad.

Figura N° 13: Agua con partículas de cemento en suspensión.



Fuente: José Leandro Espinoza.

Requisitos de Calidad:

El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma **NTP 339.088** y ser, de preferencia, potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. A continuación se presenta, en partes por millón (ppm), los valores aceptados como máximos para el agua utilizada en el concreto.

Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio.	150 ppm.
Sales solubles totales	500 ppm.
PH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1,500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.

2.5.2.4 Diseño de mezclas de concreto de alto desempeño

Para el diseño de concreto de alta resistencia (CAR) a seguir en esta investigación se usó como base el método propuesto de diseño de mezclas de CAR del comité **ACI 211.4**, el Método de diseño de mezclas de **Bolomey** y experiencias descritas en investigaciones realizadas a nivel nacional sobre CAR.

2.5.2.4.1 Proporcionamiento de una mezcla de concreto de alta resistencia (ACI 211.4)

En la web de **Cybertesis**, podemos encontrar claramente este método que se presentará a continuación:

El método propuesto por el comité 211.4 del ACI abarca el rango de resistencia entre 450 a 840 kg/cm^2 , este método es aplicable a concretos de peso normal. Las consideraciones básicas de este método al igual que en el método para concretos convencionales es la determinación de la cantidad de los materiales requeridos para producir un concreto con las propiedades en estado fresco y endurecido deseadas y a un bajo costo. Generalmente, los concretos de alta resistencia emplean adiciones puzolánicas y aditivos químicos especialmente seleccionados, y se considera esencial la obtención de una relación agua – material cementante $a/(c+p)$ baja.

El procedimiento para el proporcionamiento de nuestra mezcla consiste en una serie de pasos, con los cuales se debe cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseados.

2.5.2.4.2 Procedimiento para el proporcionamiento de las mezclas

El desarrollo de los siguientes pasos dará como resultado un conjunto de proporciones ajustadas con las pruebas de laboratorio. Estas proporciones serán la base para poder elegir la proporción óptima de mezcla.

Paso N° 01:

Seleccionar el slump y la resistencia del concreto requerido, valores recomendados para el slump se muestran en la tabla 01. A pesar que un concreto de alta resistencia es producido exitosamente con la adición de un superplastificante sin una medida inicial del slump, es recomendado un slump de 1 a 2" antes de adicionar el superplastificante. Esto asegurará una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea efectivo.

Para un concreto elaborado sin superplastificante es recomendado un slump entre 2 a 4", este puede ser escogido de acuerdo al trabajo a realizarse. Concretos con menos de 2" de slump son difíciles de consolidar dado el alto contenido de agregado grueso y materiales cementicios.

Tabla N° 01.- Slump recomendado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante.

Slump con SP	Slump sin SP
1" - 2"	2"-4"
antes de la adición del SP	

Fuente: ACI 211.4R-7

Para la determinación de la resistencia requerida del concreto se escoge previamente el Slump, luego se ve la existencia de un registro de resistencias de probetas correspondientes a investigaciones y/o proyectos anteriores, en el caso de que no existieran antecedentes, se calcula la resistencia promedio del concreto a los 28 días (capítulo 2 y 3 – ACI 211.4) de la siguiente manera:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 98}{0.9} \dots\dots\dots \text{Ecuac. 03}$$

Donde:

f'_c : Resistencia a la compresión.

f'_{cr} : Resistencia a la compresión promedio requerida.

Ecuación que se usa para concretos con $f'_c \geq 350 \text{ Kg/cm}^2$ según lo establecido por el método ACI; también se hace referencia a un factor de seguridad, este factor es de 0.9, valor que aumenta la confiabilidad y seguridad para alcanzar la resistencia requerida.

Paso N° 02:

Seleccionar el tamaño máximo del agregado, basados en los requerimientos de resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dado en la tabla 02. El ACI 318 establece que el tamaño máximo de un agregado no debe exceder un quinta parte de la dimensión menor entre los lados del elemento, una tercera parte de la profundidad de la losa, o tres cuartas partes del mínimo espaciamiento entre las barras de refuerzo.

Tabla N° 02.- Tamaño máximo del agregado grueso.

Resistencia requerida del concreto (Kg/cm ²)	Tamaño máximo del agregado
< 630	3/4" - 1"
> 630	3/8" - 1/2"

Fuente: **Cybertesis**

Paso N° 03:

Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso, el óptimo contenido de agregado grueso depende su resistencia característica y tamaño máximo. El contenido óptimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, es dado en la tabla 03. Como una función del tamaño máximo nominal. El peso seco del agregado grueso por m³ de concreto puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

Ecuación N° 04:

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \% \text{ Psag} \cdot \text{P.U.C}$$

En un proporcionamiento de una mezcla de concreto normal, el contenido óptimo de agregado grueso es dado como una función del tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino. Las mezclas de concretos de alta resistencia. Sin embargo, tienen un alto contenido de materiales cementicios, y por lo tanto no son dependientes del agregado fino para lograr la lubricación y compactibilidad de la mezcla. Por supuesto, los valores dados en la tabla 03. Son recomendados para arenas que tienen un módulo de finura entre 2.5 a 3.2.

Tabla 03.- Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto
(Para Ag. Fino con MF entre 2.5 – 3.2).

Tamaño nominal máximo	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fracción volumétrica Psag	0.65	0.68	0.72	0.75

Fuente: **Cybertesis**

Paso N° 04:

Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un slump dado es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de plastificante o superplastificante usados.

Si se usa un superplastificante, el contenido de agua en este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento: La tabla 04 da una primera estimación del agua de mezclado requerida para concretos elaborados con agregados de tamaño máximo entre 1" y 3/8", esta cantidad de agua es estimada sin la adición del aditivo. También, se da los valores estimado de aire atrapado. Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para un agregado bien gradado, angular y limpio que cumple con los límites de la norma ASTM C 33.

Dado que la forma de las partículas y la textura superficial del agregado fino puede influenciar significativamente su contenido de vacíos, el requerimiento de agua de mezclado puede ser diferente de los valores dados.

Los valores dados en la tabla 04. Son aplicables cuando el agregado fino usado tiene un contenido de vacíos igual a 35%, el contenido de vacíos del agregado fino puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de vacios, } V\% = 1 - \left(\frac{P.U.C.}{\text{Peso específico}} \right) 100 \dots\dots\dots \text{Ecuac. 05}$$

Cuando el contenido de vacíos del agregado fino no es 35%, es necesario un ajuste a la cantidad de agua de mezclado, este ajuste puede ser calculado usando la siguiente ecuación: Ajuste del agua de mezclado:

$$A \text{ (kg/m}^3\text{)} = 4.72 (V-35) \dots\dots\dots \text{Ecuac. 06}$$

Usando la ecuación obtenemos un ajuste de 4.72 kg/cm³ por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

Tabla 04.- Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire del concreto basado en el uso de una arena con 35% de vacíos.

Slump	Agua de mezclado en Kg/m ³ para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1"-2"	183	174	168	165
2"-3"	189	183	174	171
3"-4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3	2.5	2	1.5
Con superplastificante	2.5	2	1.5	1

Fuente: **Cybertesis**

Paso N° 05:

Seleccionar la relación agua/materiales cementicios, en las tablas 05^a y 05^b, valores máximos recomendados para la relación agua/materiales cementicios son mostrados como una función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 o 56 días. Los valores dados en la tabla 05^a son para concretos elaborados sin superplastificantes y los dados en la tabla 05^b para concretos con superplastificante.

La relación agua/materiales cementicios puede limitarse por requerimientos de durabilidad. Cuando el contenido de material cementicio excede los 450 kg, se debe considerar el uso de un material cementicio alternativo.

Tabla 05^a .- Relación (agua/materiales cementicios) para concretos sin superplastificante.

Resistencia promedio f'_{cr} * Kg/cm ²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.41	0.40	0.39	0.38
	56	0.44	0.43	0.42	0.42
550	28	0.36	0.35	0.34	0.34
	56	0.39	0.38	0.37	0.36
600	28	0.32	0.31	0.31	0.30
	56	0.35	0.34	0.33	0.32
650	28	0.29	0.28	0.28	0.27
	56	0.32	0.31	0.30	0.29
700	28	0.26	0.26	0.25	0.25
	56	0.29	0.28	0.27	0.26

* La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.9

Fuente: **Cybertesis**

Tabla 05^b.- Relación (agua/materiales cementicios) para concretos con superplastificante

Resistencia promedio f'_{cr} [*] Kg/cm ²	Edad (días)	Relación a/cm para los tamaños Máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
500	28	0.49	0.47	0.45	0.42
	56	0.54	0.51	0.47	0.45
550	28	0.44	0.42	0.40	0.39
	56	0.49	0.46	0.43	0.41
600	28	0.40	0.38	0.36	0.35
	56	0.44	0.41	0.39	0.37
650	28	0.36	0.35	0.33	0.32
	56	0.40	0.38	0.36	0.34
700	28	0.33	0.32	0.31	0.30
	56	0.37	0.35	0.33	0.32
750	28	0.31	0.30	0.28	0.28
	56	0.34	0.32	0.30	0.30
800	28	0.29	0.28	0.26	0.26
	56	0.32	0.30	0.28	0.28

Fuente: **Cybertesis**

Paso N° 06:

Cálculo del contenido de material cementicio, el peso del material cementicio requerido por m^3 de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c seleccionada. Sin embargo, si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de material cementicio por m^3 , este debe ser cumplido.

Paso N° 07:

Proporcionamiento de la mezcla de prueba base, para determinar las proporciones óptimas primero se debe realizar una mezcla base. Se deben seguir los siguientes pasos:

Contenido de cemento: Para esta mezcla, el peso del cemento será igual al calculado en el paso 6.

Contenido de arena: Después de determinar los pesos por m³ de agregado grueso, cemento, agua, y contenido de aire atrapado, el contenido de arena puede ser calculado usando el método de volúmenes absolutos.

Paso N° 08:

Proporcionamiento de mezclas usando diatomitas, este método incluye el uso de las diatomitas como adición al concreto, la adición de este reducirá la demanda de agua, reduce la temperatura, y reduce el costo. Este paso se describe la manera de adicionar al concreto este material y los pasos para su proporcionamiento

Paso N° 09:

Mezclas de prueba, para cada mezcla el proporcionamiento se hará siguiendo los pasos del 1 al 8, una mezcla de prueba debe ser producida determinando su trabajabilidad y características de resistencia.

Paso N° 10:

Ajuste de las proporciones de la mezcla, si las propiedades deseadas del concreto no han sido obtenidas en las mezclas de prueba, las proporciones de la mezcla base deben ser modificadas siguiendo el procedimiento:

Slump inicial: Si el slump inicial no se encuentra en los rangos deseados, el agua de mezclado debe ser ajustada, el contenido de cemento debe ser corregido para mantener constante la relación a/mc, y el contenido de arena debe ser ajustado para asegurar el flujo del concreto.

Dosis de superplastificante: Si un superplastificante es usado, debe ser determinado su efecto en la trabajabilidad y resistencia. Se debe seguir las indicaciones dadas por el fabricante en cuanto a su tasa máxima de uso. El uso en laboratorio de superplastificantes debe ser ajustado para su uso en campo.

Contenido de agregado grueso: Una vez que la mezcla de prueba de concreto han sido ajustadas para el slump deseado, se debe determinar si la mezcla es demasiado pedregoso. Si es necesario el contenido de agregado grueso puede ser reducido y el

contenido de arena ajustado. Sin embargo, este incremento del contenido de arena incrementara la demanda de agua, y por lo tanto el contenido de cemento.

Contenido de aire: Si el contenido de aire difiere significativamente de las proporciones deseadas, el contenido de arena puede ser ajustado.

Relación a/c: Si la resistencia requerida no es alcanzada, se deben realizar mezclas adicionales con una menor relación a/c.

Paso N° 11:

Selección de la mezcla óptima, una vez que las proporciones de mezcla han sido ajustadas para producir la trabajabilidad y resistencia deseadas, es necesario realizar pruebas en las condiciones de campo de acuerdo con los procedimientos recomendados por el ACI 211.1.

2.5.2.4.3 Método de diseño de mezclas de Bolomey:

Entre los nuevos métodos de diseño de mezclas de concreto presentado en un ensayo en la web de Slideshare, nos muestra la siguiente teoría sobre el método Bolomey:

Este método realizó las modificaciones más aceptadas de los métodos de diseño publicados por Fuller, Thompson y Weymouth con respecto a obtener las múltiples curvas ideales; modificaciones hechas en 1947, la cual contempla un mayor contenido de finos dentro de la masa de agregado con objeto de eliminar la aspereza y mejorar la manejabilidad de la mezcla de concreto en estado fresco. Esta modificación es mostrada en la ecuación siguiente:

$$P = f + \frac{(100-f) \sqrt{\frac{d}{D}}}{\dots\dots\dots} \quad \text{Ecuación N° 07}$$

Donde f es una constante empírica que representa el grado de trabajabilidad de una mezcla de concreto para una trabajabilidad y forma determinada. Los valores de f se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 06: Valores de f según la fórmula de Bolomey.

Forma de las partículas de agregado	Consistencia del concreto		
	Seca	Normal	Húmeda
Agregados redondeados	6 - 8	10	12
Agregados chancados	8 - 10	12 - 14	14 - 16

Fuente: Slideshare.

Este método es el más usado para realizar diseños de mezclas en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería; quienes lo describen como un método confiable que da eficacia y eficiencia en sus resultados. Ellos cuentan con una hoja de cálculo de M. Excel que nos facilitaron para la presente investigación.

2.5.2.5 Propiedades del concreto en estado fresco

2.5.2.5.1 Color

El concreto con microsílice tanto en estado fresco como endurecido tiene una coloración gris oscuro (especialmente en concretos con altos porcentajes de este) mayor que los concretos sin aditivo, la cual se acentúa con el contenido de aditivo.

2.5.2.5.2 Consistencia o Fluidéz

Cachay Huamán, explica que es la propiedad del concreto fresco que está en relación directa con el grado de humedecimiento de la mezcla, diagnosticando de acuerdo al grado contenido de agua, 3 tipos de mezclas:

Mezclas secas (Slump < 2")

Mezclas plásticas (Slump de 3" – 4")

Mezclas húmedas (Slump > 5")

Rivva López, lo define como la resistencia que opone el concreto a experimentar deformaciones. Depende de la forma, gradación y tamaño máximo del agregado en la mezcla, cantidad de agua de mezclado.

La consistencia se mide mediante el ensayo de revestimiento o “slump” con el “Cono de Abrams” (ASTM C-143), para concretos hechos con agregado grueso cuyo tamaño máximo es menor de 2”.

Portugal Barriga, agrega que la adición o empleo de la microsílíce a las mezclas ha generado un concreto más cohesivo y menos propenso a la segregación, este comportamiento se observó en todas las mezclas elaboradas con este material.

2.5.2.5.3 Trabajabilidad

Rivva López, lo define como la cantidad de trabajo necesaria para compactar al máximo una mezcla de concreto. Depende de la fluidez, la docilidad y el equipo de compactación con que se cuente. Como se puede apreciar, la trabajabilidad es una combinación de muchas variables principalmente la relación agua cemento y el tamaño máximo del agregado.

Al usar microsílices, genera un importante incremento en el área superficial, incrementando las fuerzas superficiales internas (cohesividad del concreto); efecto ventajoso pero que también da lugar a que el concreto sea menos trabajable durante la colocación, lo cual obliga a un incremento en el asentamiento para mantener una trabajabilidad “aparente” (efecto del microsílíce sobre el asentamiento medido en el cono, efecto más bajo que el de los concretos normales). Razones por las cuales los microsílices deben ser empleados conjuntamente con plastificantes o superplastificantes.

El uso de microsílices que gracias a sus partículas esféricas y a la energía de mezclado (bombeo o vibración) generan mayor lubricación de la mezcla y mayor movilidad que la obtenida en concretos ordinarios carentes de este material; adicionalmente deberá causar una disminución en la viscosidad aunque se incremente ligeramente la resistencia al corte de la mezcla fresca.

En concretos a los cuales se les ha adicionado microsílíce debe considerarse el contenido de agua de la mezcla, el módulo de fineza, superficie específica y contenido de polvo del agregado fino, el perfil y la textura del agregado grueso, características físicas del microsílíce, la marca; así como los principales factores de obra.

2.5.2.5.4 Homogeneidad

Rivva López, nos explica que homogeneidad se refiere a que los componentes del concreto se encuentren en la misma proporción en cualquier parte de la masa. Considerando que el concreto es una mezcla cuyos componentes tienen diferente peso específico, estos tenderán a segregarse. La homogeneidad depende del tipo y tiempo de mezclado, del transporte, de la compactación, etc. Para el muestreo del concreto se debe tomar masas que correspondan al tercio central de una tanda de mezcladora.

2.5.2.5.5 Compacidad

Gonzales García, nos dice que es un factor característico de la trabajabilidad y está relacionado con la compactibilidad, y es la propiedad que debe tener todo concreto de modo que en un volumen fijo quepa la mayor cantidad de agregado grueso y la mayor cantidad de pasta. En estas condiciones se obtendrá un concreto muy denso de gran resistencia y más impermeable. Es decir, muy estable cuando está endurecido.

2.5.2.5.6 Peso Unitario

Ayrbar de la Torre, señala que el peso unitario del concreto es el peso variado por una unidad de volumen de una muestra representativa del concreto. Se expresa en kg/m^3 .

El procedimiento para su determinación, consiste en llenar un molde determinado (muestra representativa), en tres capas sucesivas con 25 golpes cada capa y luego pesar, entonces por definición:

El peso unitario del concreto es igual al peso total menos el peso del molde entre el volumen del molde. De acuerdo al tipo de agregado utilizado, los concretos se clasifican en:

Concretos Normales ($2200 - 2500 \text{ kg/m}^3$)

Concretos Livianos ($600 - 1800 \text{ kg/m}^3$)

Concretos Densos ($2700 - 4500 \text{ kg/m}^3$)

2.5.2.5.7 Contenido del aire

Gonzales García, en su trabajo de Tesis agrega que esta es una propiedad que tiene todo concreto, puesto que el aire es un volumen integrante de una mezcla y su presencia es inevitable. La importancia radica en el porcentaje de aire que contenga una mezcla y el cómo manejarlo para que su presencia no afecte las propiedades requeridas.

El contenido de aire influye en concretos que no hayan tenido una buena dosificación, transporte y compactación, originando cangrejas; formando un porcentaje de aire indeseable, constituyéndose en vías de ataque para los agentes climáticos.

Una cantidad significativa de material que pase la malla N° 200, especialmente en forma de arcilla, puede reducir el contenido de aire en el concreto y obligar a que se emplee más aditivo incorporado de aire para obtener los mismos resultados.

2.5.2.5.8 Segregación

Ayrbar de la Torre, indica que la segregación representa el estado opuesto de la homogeneidad, se define como la descomposición mecánica del concreto fresco en sus partes constituyentes cuando el agregado grueso tiende a separarse del mortero.

Otras causas de segregación menos usuales puede ser el empleo del agregado grueso cuya gravedad específica difiere apreciablemente de la que tiene el agregado fino. Otra puede ser el empleo del agregado grueso cuyo tamaño máximo excede las dimensiones del elemento estructural.

Este es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el elemento llenado bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejas, etc. Lo que implica un deficiente comportamiento estructural del elemento, la segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuando más humedad es ésta y menor cuando más seca es.

Gonzales García, manifiesta que en la etapa de producción de concreto en obra se tiene que tener bastante cuidado, puesto que generalmente los procesos de transporte, colocación y compactación del concreto son las causas externas del fenómeno de segregación.

2.5.2.5.9 Exudación

Ayrbar de la Torre, lo define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno ocurre momentos después que el concreto ha sido colocado en el encofrado. La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua de la misma, así como también de la fuerza del cemento, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación.

Cuando se aprecia una exudación excesiva, debe adoptarse medidas en su granulometría para controlar o eliminar los efectos negativos que pudiera tener en el resultado final. Una forma de contribuir a controlar la exudación es el empleo de una combinación adecuada de arenas gruesas y finas, a fin de incrementar la superficie específica y disminuir el volumen de exudación.

2.5.2.5.10 Cohesividad

Ayrbar de la Torre, considera que es la propiedad del concreto fresco que trata de impedir la posible segregación de la mezcla durante el traslado, colocación y compactación de la misma.

Desde el punto de vista físico y microscópico, se puede interpretar éste fenómeno como las fuerzas de atracción entre las partículas del concreto, las cuales se transmiten a través del medio líquido que las rodea siendo éste “medio líquido” (pasta de cemento) no genera las fuerzas suficientes para mantener “ordenadas a las partículas (agregados) separándose las livianas de las más pesadas originando segregación de la misma.

2.5.2.5.11 Estabilidad

Pasquel Carbajal, agrega que es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

2.5.2.6 Propiedades del concreto en estado endurecido

La principal propiedad a ser estudiada en esta investigación es la resistencia a la compresión del concreto, por tal motivo se obvia hablar de propiedades como son:

resistencia a la tracción por compresión diametral, resistencia a la flexión, módulo elástico, etc.; propiedades que para más detalles se las puede encontrar en el Libro “Concreto de Alta Resistencia” de Enrique Rivva López.

2.5.2.6.1 Resistencia a la Compresión

Rivva López, nos dice que la resistencia a la compresión simple del concreto es su propiedad más característica y la que define su calidad. En 1919, Duff Abrams estableció experimentalmente que la resistencia a la compresión es función de la relación agua/cemento (A/C) en forma más significativa que otras variables como la calidad de los agregados, la compactación, etc. La resistencia aumenta con el tiempo y depende del estado de humedad durante este tiempo y del estado de humedad durante el tiempo de depósito. También, esta se modifica en forma muy importante si se incorpora microsilíce a la mezcla, aumentando su resistencia a la compresión. La resistencia también depende de numerosos factores, algunos de los cuales son: el tipo de mezcla, tipo de cemento, cantidad de microsilíce, empleo de aditivos reductores de agua; propiedades del agregado; y régimen de curado.

Huincho Salvatierra, hace referencia según su experiencia a que las mezclas con microsilíce y nanosilíce presentan resistencias a la compresión superiores a las mezclas de concreto que tiene superplastificante (CPA), la resistencia a la compresión de las mezclas con nanosilíce disminuyen en función del incremento de su dosis. La máxima resistencia a la compresión es de 1423 kg/cm^2 a la edad de 90 días, el cual logró con la adición de microsilíce al 10% en peso del cemento, la ganancia de resistencia de este tipo de concreto es muy importante ya que a las 24 horas alcanza los 400 Kg/cm^2 , a los 3 días alcanza los 700 Kg/cm^2 , a los 7 días alcanza los 830 Kg/cm^2 , y a los 28 días llega a los 1200 Kg/cm^2 .

Huincho También menciona que la resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. Esta se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. Para concretos de alta resistencia esta se realiza a los 56 o 90 días de curado (bajo agua); esta se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal.

2.5.2.6.2 Durabilidad

Rivva López, dice que la durabilidad del concreto es modificada por la presencia de microsilíce en la mezcla. Factores tales como ataques químicos, reacción álcali-agregado, ataque por sulfatos; procesos de congelación y deshielo; desgaste por abrasión, acción del fuego, etc., tienen una distinta acción sobre el concreto ya se trate que este tenga o no microsilíce incorporada.

2.5.2.6.3 Fragilidad

Rivva López, señala que los Concretos de Alta Resistencia exhiben un comportamiento frágil y los concretos con microsilíce no son una excepción a esta regla. En general, **cuanto mayor es la resistencia del concreto, más frágil es el material.**

2.5.2.7 Técnica estadística de validación de resultados.

Para la verificación de la hipótesis, y con el fin de determinar en una afirmación los resultados de la investigación, se realiza el contraste de la hipótesis; para lo cual generalmente se usan métodos estadísticos que justifican la razón por la cual se toma tales o cuales decisiones respecto a la hipótesis, orientando finalmente a la toma de conclusiones.

2.5.2.7.1 Contraste de Hipótesis.

Según el blogspot de **Eliseo Moreno**, en su resumen de la Metodología de Investigación Científica – Contrastación de hipótesis en una investigación, nos dice que las hipótesis científicas deben ser sometidas a una prueba empírica, para tomar una decisión con relación a ellas (rechazarlas o aceptarlas), de acuerdo con lo que el estudio observe en la realidad. En hipotético caso no se aceptaran, esto no implica que la investigación no tenga sentido. Este hallazgo de no cumplimiento de lo predicho en la hipótesis, en el contexto de una investigación, al igual que su comprobación, incrementa el conocimiento.

En virtud de lo expuesto arriba, el contraste de hipótesis requiere del cumplimiento de las siguientes etapas:

Deducción de consecuencias observables.

La mayoría de las hipótesis se formulan en términos abstractos, es decir, no observables directamente. No obstante, para ponerlas a prueba, se deben vincular estos términos abstractos con referentes de la experiencia. Al hacer este proceso deductivo, generalmente, se deben efectuar operaciones empíricas como disponer o construir un instrumento de medición, que especifican las operaciones necesarias para poder observar el fenómeno. Esta especificación que implica la operación aludida, se conoce como definición operacional.

Confrontación con la experiencia.

Básicamente esta etapa consiste en la confrontación con la experiencia, mediante la observación, experimentación u otro método. En esta etapa son primordiales las características del diseño del estudio y de los instrumentos de recolección de datos que se apliquen.

Inferencia.

En esta etapa, una vez recolectada la información, se debe tomar una decisión respecto a la hipótesis, sobre la base de la interpretación de los datos analizados. Si los datos coinciden con lo enunciado por la hipótesis, se dice que estos apoyan y, en efecto, se decide aceptarla como verdadera. Sin embargo, esta decisión se toma con una probabilidad de error, ya que los datos provienen de una muestra de la realidad, que podría estar considerando solo aspectos parciales, y por ende constituir una porción sesgada de la misma. Por otro lado, si la mayoría de las deducciones o consecuencias de las hipótesis no se cumplen, las evidencias nos lleva a rechazar la hipótesis, lo que constituye en sí mismo un conocimiento relevante e interesante. **García Torres**, manifiesta que la verificación de hipótesis corresponde a la parte práctica del trabajo de investigación, conocida en ciencias naturales como resultados y análisis de resultados.

2.5.2.7.2 La lógica del contraste de hipótesis.

García Torres, nos dice que lo esencial del contraste de hipótesis es la comparación de la hipótesis estudiada con la evidencia obtenida de la muestra (o muestras). Se utilizan técnicas estadísticas para hacer esta comparación, llegando a dos situaciones:

Si los datos de la muestra no contradicen la hipótesis, se sigue sosteniendo la hipótesis.

Si los datos de la muestra contradicen la hipótesis, se rechaza esta, y se sostiene la validez de la hipótesis contraria (o alternativa).

Desde el punto de vista del conocimiento (epistemológico), cuando los datos de la muestra no contradicen la hipótesis **no podemos afirmar con total garantía que la hipótesis es cierta**. Por ejemplo, podría suceder que tomásemos otra muestra y esta segunda sí que entre en contradicción con la hipótesis. Por lo tanto, la hipótesis es siempre provisional. Pero la cosa cambia si se mira de otra forma, si encontramos que la muestra contradice la hipótesis, podemos considerarla falsa (y por lo tanto es cierta la alternativa). No obstante, en ambos casos la “contradicción” que los datos pueden dar lugar respecto a la hipótesis es una cuestión de probabilidad. Por ello, la certeza en el contraste de hipótesis es siempre probabilística, y se basa en el concepto de nivel de significación.

2.5.2.7.3 Método General.

García Torres, señala que el Contraste de hipótesis es una técnica o procedimiento que nos permite determinar si las muestras observadas difieren significativamente de la hipótesis planteada. Dependiendo de la magnitud de esa diferencia, se rechazará la hipótesis planteada o se considerará cierta.

Desde el punto de vista de la lógica científica, si damos por cierta la hipótesis tras el contraste, esta siempre es una certeza provisional, ya que siempre cabe la posibilidad de que al observar otra muestra en el futuro, la diferencia sea tan grande como para rechazar la hipótesis que provisionalmente se había dado por válida.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis nula (y en consecuencia, de la alternativa)

El contraste de hipótesis comienza por el planteamiento de la hipótesis nula, denominada H_0 . Luego se define la hipótesis alternativa, denominada H_1 .

Las dos hipótesis son complementarias (contrarias) y entre las dos deben cubrir todas las posibilidades. En otras palabras, si una de ellas es cierta, forzosamente la otra tiene que ser falsa.

Nota: En la hipótesis nula H_0 cuando se comprueban valores, siempre tiene que figurar la igualdad en la comparación, debido al tipo de técnica matemática utilizada, ya que es la afirmación concreta que se somete a contraste.

Paso 2: Prueba, contraste o test sobre la hipótesis nula.

Consiste en partir de la suposición de que la hipótesis nula es cierta, tomar y analizar las muestras y comparar si el resultado empírico de los datos es compatible o coherente o no con la hipótesis nula partida.

Para ello se recurre a un estadístico de contraste. Un estadístico es siempre función de una muestra. Por ejemplo, si nuestra hipótesis es una afirmación sobre la media poblacional tal como $H_0 = \mu \leq 45$, entonces el estadístico de contraste que parece lógico utilizar es la media muestral \bar{x} . El estadístico de contraste debe poseer dos características:

Proporciona información empírica relevante a la hipótesis nula.

Posee una distribución muestral conocida.

Todo estadístico – como media muestral – es en sí una variable aleatoria que sigue una determinada distribución muestral. Sobre esa distribución muestral se hará realmente el contraste.

2.5.2.7.4 Contraste sobre la distribución muestral.

García Torres, señala que todo contraste de hipótesis termina con una discusión de aceptar o rechazar H_0 . Al tomar esa decisión, siempre se corre el riesgo de caer en el error, aunque la probabilidad de hacerlo sea pequeña. Es importante entender dos tipos de errores que pueden darse:

Si se rechazó H_0 y está es realmente cierta, se hizo por contraste utilizando un nivel de significación α , es decir, la probabilidad de este error es α .

Este es un valor conocido en el propio test de hipótesis, y se denomina **error de tipo I**.

Si se aceptó H_0 y esta es realmente falsa, se hizo con una probabilidad que no conocemos por el propio contraste y que llamaremos β .

El error de tipo II dependerá de varios factores:

La verdadera H_1 .

El valor de α .

El tamaño de la desviación típica de la distribución muestral (del estadístico de contraste).

Tabla N° 07: Tipos de errores en el contraste.

	H_0 es cierta	H_1 es cierta
Aceptada H_0	No hay error	Error tipo II
Aceptada H_1	Error tipo I	No hay error

Fuente: Mario García Torres.

2.5.2.7.5 Distribución t de Student.

Según la biblioteca virtual **Wikipedia**, En probabilidad y estadística, la **distribución t (de Student)** es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.

Aparece de manera natural al realizar la prueba t de Student para la determinación de las diferencias entre dos medias muestrales y para la construcción del intervalo de confianza para la diferencia entre las medias de dos poblaciones cuando se desconoce la desviación típica de una población y ésta debe ser estimada a partir de los datos de una muestra.

Este método analizado, interpretado y adecuado por el Comité **ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE)**, nos lo presenta de la siguiente manera:

La parte estadística se usa pre y post diseño: previo al diseño se usa para determinar la resistencia promedio f'_{cr} y post o después del diseño se usa para determinar la probabilidad de seguridad de obtener tal calidad del concreto (coeficiente de variación)

Pre diseño: Las mezclas de concreto deben diseñarse para una resistencia promedio f'_{cr} (valor que es mayor al de la resistencia de diseño especificada f'_c), con el fin de determinar que si se logrará la resistencia f'_c bajo condiciones de campo, ya que en laboratorio intervienen diversos factores que aseguran obtener la resistencia en su máximo esplendor. Para determinar la resistencia promedio f'_{cr} , existen dos formas a emplear:

Cuando existen registros de rotura a compresión de probetas de concreto: en este caso la resistencia promedio f'_{cr} estará en función de la desviación estándar (S) hallada estadísticamente de una serie de registros de ensayos de resistencias a la compresión mediante la rotura de probetas de concreto, el ACI nos dice que esta debe ser un promedio estadístico hallado de dos desviaciones estándar:

$$S = (S_1^2 + S_2^2)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 08}$$

Dónde:

S = Desviación estándar promedio.

S_1 = Desviación estándar del constructor.

S_2 = Desviación estándar del supervisor.

En la práctica y de no contar con los datos S_1 y S_2 , la resistencia promedio se halla con la desviación estándar del constructor, en este caso del investigador, es decir, solamente S_1 .

Cálculo de la desviación estándar: A continuación se muestra la ecuación que sirve para encontrar la desviación estándar cuando el registro proviene de los últimos 12 meses y de un número de muestras menores a 30, adecuándose a esta investigación.

$$S = \left(\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1} \right)^{1/2} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 09}$$

Dónde:

S = Desviación estándar promedio.

n = Número de ensayos realizados.

X_1, X_2, \dots, X_n = Resultados de resistencias a la compresión de ensayos individuales.

\bar{X} = Promedio aritmético de todos los ensayos individuales de una serie.

Cálculo de la resistencia promedio

Conocido, la desviación estándar, la resistencia promedio se halla empleando la ecuación dada por el ACI – Comité 318-89.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34 S \dots\dots\dots \text{Ecuac. N° 10}$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33 S - 3.5 \dots\dots\dots \text{Ecuac. N° 11}$$

Dónde:

f'_{cr} : Resistencia Promedio.

f'_c : Resistencia de diseño especificada.

S : Desviación estándar.

La Resistencia promedio deberá ser el mayor de los dos valores obtenidos.

Cuando NO existen registros de rotura a compresión de probetas de concreto:

Cuando no se cuenta con un registro de resultados de ensayos que posibilita el cálculo de la desviación Estándar, aplicada para esta investigación, ya que esto es algo nuevo y no existen antecedentes de registros de rotura de probetas de concreto. Por lo que se debe obviar el cálculo de la desviación estándar y simplemente ampararse en las siguientes ecuaciones:

Tabla N° 08: Resistencia a la compresión promedio.

f'_c	f'_{cr}
MENOS DE 210	$f'_c + 70$
210 A 350	$f'_c + 84$
MAYOR A 350	$f'_c + 98$

Fuente: ACI – Comité 318 – 89

Esto se usó inicialmente para el diseño, usando adicionalmente en la ecuación un Rango de Seguridad R_f : 0.9; quedando la ecuación como sigue a continuación:

$$f'_{cr} = \frac{f'_c + 98}{0.9} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 03}$$

Post Diseño: Una vez que se obtengan los resultados de los ensayos de rotura a compresión de las muestras de concreto, se podrá obtener la desviación estándar (mismo método mencionado anteriormente); esta desviación estándar nos ayudara a encontrar el coeficiente de variación, lo que nos ayudara a validar la hipótesis.

Coeficiente de variación (V): Para calcular el Coeficiente de Variación (V), previamente es necesario calcular la desviación estándar. El coeficiente de variación es igual a la desviación estándar (S), dividido con el promedio aritmético de los resultados individuales de ensayos de resistencia a la compresión de una serie. La fórmula es:

$$V = S/\bar{X} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 12}$$

Dónde:

V = Coeficiente de variación.

S = Desviación estándar.

\bar{X} = Promedio aritmético de los resultados individuales de ensayos de resistencia a la compresión.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots\dots\dots \text{Ecuación N° 13}$$

$X_i = X_1, X_2, \dots\dots\dots, X_n$: Resultados individuales de ensayos de resistencia a la compresión de una serie.

Los valores que relacionan el “**Grado de Control de calidad con el coeficiente de variación V**” están dados en la siguiente tabla, que se presentan a continuación para su mejor comprensión:

Tabla N° 09: Grados de control – V(%)

GRADOS DE CONTROL	V (%)
Obtenible únicamente en ensayos de laboratorio	5
Excelente en obra	10 a 12
Bueno	15
Regular	18
Inferior	20
Malo	25

Fuente: ACI – Comité 318 – 89

De acuerdo a estos límites se analizará el grado de control de calidad y con esto se realizará la contrastación de la hipótesis.

Nota: Lo descrito anteriormente es únicamente aplicado para este tipo de investigación y adecuado a los resultados proyectados y obtenidos (muestras). Además, no se realizara la comparación entre concretos, debido a que solo se trabajara para alcanzar un concreto capaz de alcanzar tal resistencia (MS 9.5), y donde los concretos (C°P y C°AS) servirán para tal fin; por tal motivo no se entró en detalles que son irrelevantes para la validación de esta investigación.

2.5.3 MARCO CONCEPTUAL

2.5.3.1 Cemento Portland

Abanto Castillo, lo considera un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales minerales, tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida.

2.5.3.2 Granulometría

Pineda, define por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica se mide de forma indirecta haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices o cedazos de diferentes aberturas calibradas, que son ordenados de mayor a menor abertura.

2.5.3.3 Fraguado

García torres, sostiene que fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos procedentes de la reacción química del agua de amasado con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que compone el cemento.

2.5.3.4 Clinker

La **Enciclopedia Wikipedia**, nos dice que el Clinker o clinker Portland es el principal componente del cemento Portland, el cemento más común y, por tanto, del hormigón.

El clínger se forma tras calcinar caliza y arcilla a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. El clínger es el producto del horno que se muele para fabricar el cemento Portland.

2.5.3.5 Curado

Abanto Castillo, considera que es un proceso que consiste en mantener húmedo al concreto por varios días después de su colocación, con el fin de permitir la reacción química entre el cemento y el agua (hidratación del cemento).

2.5.3.6 Resistencia a la Compresión ($f'c$).

Rivva López, lo define como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos a la compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad.

2.5.3.7 Tamaño Máximo (TM).

La **Norma NTP 400.037**, define al “Tamaño máximo” como la última malla por donde pasa TODO el material.

2.5.3.8 Tamaño Máximo Nominal (TMN).

La **Norma NTP 400.037**, lo define como a aquel que corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido.

2.5.3.9 NanoSílice.

Según el blog de **CarbonInspired**, es un nanoaditivo, a base de sílice con partículas esféricas de alta pureza de tamaño manométrico, con una distribución de tamaños idónea. Por su elevado poder de fluidificación y su capacidad de favorecer la evolución de resistencias, lo hace ideal para su empleo en cementos y hormigones. La nanosílice tiene gran poder plastificante y reductor de agua, permeabilidad nula o casi nula por lo que aumenta la durabilidad del hormigón, evita la segregación y la excesiva exudación y no produce retrasos de fraguado. Las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento.

2.5.3.10 Exudación.

Abanto Castillo, sostiene que es el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado.

2.5.3.11 Segregación

Aybar de la Torre, indica que esta propiedad del concreto fresco, implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso al mortero.

2.5.4 MARCO HISTÓRICO

Según la investigación del Ing. **E. Rivva López**, tenemos los siguientes datos sobre la evolución histórica del concreto de alta resistencia (**CAR**): La tecnología y el desarrollo de los nuevos y/o mejorados materiales de construcción ha sido gradual para muchos de ellos, tal es el caso de los denominados “concretos de alta resistencia”, calificación que sigue evolucionando.

Inicialmente, en la década de los 50, concretos con resistencia en compresión de 350 kg/ Cm^2 a la edad de 28 días eran considerados como CAR. Para la década del 60, se empleó comercialmente en los EE.UU. y Japón, pero esta vez ya se contaba con concretos con resistencia en compresión de 500 kg/ Cm^2 a los 28 días. En la década de los 70, ya se utilizaban concretos con resistencia en compresión de 600 kg/ Cm^2 a los 28 días. Ya para el año 2000 ya se utilizaba para vaciados en sitio, con resistencia a la compresión del orden de 1400 kg/ Cm^2 a los 54 días.

La evolución de la resistencia a la compresión ha ido modificando la definición de los concretos de alta resistencia; ubicando en la necesidad de redefinir los límites al Comité 363 del ACI. Es así, que en 1992 éste lo definía como “concretos cuya resistencia en compresión de diseño específica es mayor de 400 kg/cm^2 a los 28 días”, no incluyéndose en esta definición los concretos preparados empleando materiales o técnicas “exóticos”. Para el año 2001, el Comité indica que la palabra “exótico” ha sido incluida en la definición (ya que no era su función tratar aspectos referenciales a concretos impregnados con polímeros, concretos epóxicos, o concretos preparados con agregados artificiales).

El comité recalcó que pese a señalar como límite menor los 400 kg/cm^2 a los 28 días como resistencia a la compresión del concreto de un CAR, eso no significaba que al llegar a este valor se presente en el material un cambio drástico en las propiedades. Y que ésta varía sobre una base geográfica y de desarrollo tecnológico. Así que en aquellas regiones donde el concreto con una resistencia a la compresión de 600 kg/cm^2 a los 28 días, ya está siendo producido comercialmente. Los concretos de alta resistencia estarán en el rango de 800 a 1000 kg/cm^2 .

Rivva López, nos confirma el desarrollo de su aplicación. Él afirma que por muchos años, concretos con resistencias en compresión en exceso de 400 kg/cm^2 a los 28 días solo eran disponibles en muy pocas localidades, abriéndose paso cada vez más en la industria de la construcción, la misma que se torna más exigente y donde surgen más problemas difíciles de solucionar con concretos normales y comunes, motivando lentamente pero en forma continua su ampliación del valor de la resistencia y de su aplicación, logrando actualmente su uso en muchas partes del mundo.

En Perú ya se elaboran a nivel de laboratorio concretos con resistencia a la compresión mayores de 1400 kg/cm^2 a los 54 días y, en obra, normalmente concretos de más de 700 kg/cm^2 . En el caso de nuestra región, existen investigaciones relacionadas como son la del ahora Ing. Mario García Torres quien realizó un CAR con resistencia a la compresión del orden de 480 kg/cm^2 a los 28 días, y la del Bach. Lelis Santa Cruz Burga quien realizó un CAR con resistencia a la compresión del orden de 600 kg/cm^2 a los 28 días. En ambos casos a nivel de laboratorio. Su uso en obras a nivel regional, está en el orden de más de 400 kg/cm^2 de resistencia a la compresión.

Este avance ha sido posible como resultado del notable desarrollo de la tecnología de los materiales, especialmente en adiciones y aditivos, y de las investigaciones de laboratorio orientadas a satisfacer la demanda de los profesionales por concretos de resistencias cada vez mayores. La construcción de muchas e importantes edificaciones, tales como el Chicago Water Power Place, Burj Khalifa, o el puente East Huntington, no hubiese sido posible sin la disponibilidad de los concretos de alta resistencia.

2.6 HIPÓTESIS A DEMOSTRAR

Si realizamos un adecuado diseño de mezclas y establecemos la dosificación correcta del aditivo, el agua, la adición, el cemento y especialmente de los agregados provenientes de la cantera Buenos Aires (río Huallaga), obtendremos un concreto de alta resistencia con un $f'c \geq 900 \text{ Kg/Cm}^2$ para ser usado en la ciudad de Tarapoto y/o Región San Martín.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

El presente trabajo de investigación utilizó los siguientes recursos para su elaboración:

3.1.1 RECURSOS HUMANOS

Tesista: Bachiller en Ingeniería Civil, egresado de la Universidad Nacional San Martín, que se encargó de formular, planificar, desarrollar, y supervisar todo el proceso que implicó el desarrollo de esta investigación, para llegar a concretar los objetivos trazados; para lo cual, se ha tenido que realizar permanentes y diferentes coordinaciones con el Ingeniero asesor, la jefe del laboratorio de ensayo de materiales, el personal técnico del laboratorio, entre otros.

Asesor: Ingeniero Magister en Ciencias y docente Asociado a dedicación exclusiva, en actividad de la FICA-Universidad Nacional de San Martín, profesional encargado de orientar y coordinar el desarrollo de la metodología de la investigación, con la finalidad de cumplir con los estándares académicos y concretar eficientemente los objetivos trazados.

Jefe del laboratorio: Ingeniera responsable del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá” dependencia de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI) de la ciudad de Lima, quien brindó las facilidades y las garantías necesarias para el uso del laboratorio durante todo este trabajo, asignando el personal técnico para la adecuada utilización y manejo de los equipos y materiales; entidad que al final, emitió una certificación de todo el proceso realizado en este departamento, a través de la emisión de una constancia oficial.

Técnicos especialistas de laboratorio: Personal capacitado del laboratorio de ensayo de materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá” del Laboratorio de Ensayo de Materiales “Ing. Manuel Gonzáles de la Coterá” dependencia de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (LEM-UNI) de la ciudad de Lima, asignado por la jefe del laboratorio, quienes brindaron un apoyo efectivo durante la realización de los diferentes ensayos.

3.1.2 RECURSOS MATERIALES

3.1.2.1 Agregados:

Teniendo claro que mi principal objetivo a lograr en el presente trabajo de investigación, es la obtención de un concreto de alta resistencia con insumos locales; y teniendo en cuenta, que los agregados constituyen en promedio entre 65 % y 75% del volumen total de los materiales a utilizar. Una de mis principales preocupaciones fue encontrar un agregado regional de abundante disponibilidad y fácil adquisición, y que trate de cumplir con las especificadas y establecidas por el método de diseño propuesto por el Comité 211.4 del ACI, la NTP 400.010; así como reúna algunas características expuestas en otras investigaciones realizadas a nivel local y nacional.

Se ha utilizado para el desarrollo de la presente investigación el agregado fino consistente en agregado triturado y arena, y el agregado grueso consistente en piedra chancada de denominación comercial de ½" y de 3/8", proveniente de la cantera Buenos Aires, aproximadamente a 47 Km de la ciudad de Tarapoto; cantera ubicada en la margen izquierda del río Huallaga, en el Distrito de Buenos Aires, Provincia de Picota, Región de San Martín; agregados que cumplen con las especificaciones NTP 400.037, NTP 400.010 y la Norma ASTM C33.

Gracias a su gran uso comercial en la ciudad de Tarapoto, este material fue de fácil adquisición; siendo adquirido en una de las muchas empresas chancadoras de agregados que existen a las afueras de la ciudad de Tarapoto.

El agregado fino se eligió de acuerdo con los antecedentes en especificaciones técnicas existentes e investigaciones pasadas, tratando de encontrar un material libre de partículas de limo y arcilla y con un módulo de fineza entre los 3 ± 0.3 , es decir, una arena mediana a gruesa, limpia y que no demande más agua para el mezclado; que investigando más a fondo, la única del mercado local que cumplía con estas características y que provenga de las canteras del río Huallaga, era la arena triturada. La cual se obtiene de lo restante del proceso del chancado de piedra y que pasa por una malla bien fina (4.75 mm).

Para la elección del agregado grueso se tomó consideraciones del método ACI 211.4 (paso 2), donde nos especifica que para obtener unas resistencias mayores a 630

Kg/cm^2 se debe usar agregado de tamaño máximo nominal de entre 3/8" y 1/2" de diámetro, motivo por el cual me decidí por el TMN de 1/2"; y revisando especificaciones técnicas de ensayos anteriores al material de esta nominación, se veía que para ubicarlo más o menos entre un HUSO de las NTP 400.037 y la ASTM C-33, se debería adquirir tanto agregado de denominación comercial de 1/2" y la de 3/8".

Este material fue elegido meticulosamente, su transporte y almacenamiento fueron de los más exigentes, sus propiedades físicas y químicas se presentan en el capítulo V.

3.1.2.2 Aditivo Superplastificante

Para obtener concreto de resistencias a la compresión, superiores a los $600 \text{ Kg}/\text{cm}^2$, se debe trabajar con la mínima relación agua/cemento posible, en este caso trabajamos a 0.25; relación que trabaja con un mínimo de agua y exige el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango para que esta mezcla sea trabajable y se comporte con la fluidez necesaria para condiciones en obra.

El aditivo usado es el VISCOCRETE 20HE, material facilitado por la empresa Sika Perú S.A.; aditivo superplastificante de tercera generación para concreto y mortero, de aspecto líquido, color gris a gris oscuro, este cumple con los estándares de calidad especificadas en las normas NTP 334.088, ASTM C-494 y ASTM C-1017; perteneciente a los reductores de agua de alto rango del tipo "F".

3.1.2.2.1 Características y propiedades del superplastificante empleado

Usos:

Sika® ViscoCrete® - 20 HE está especialmente diseñado para la producción de concreto que requiere de un rápido desarrollo de resistencia inicial, alta reducción de agua y excelente trabajabilidad. Sika® ViscoCrete® - 20 HE es usado para los siguientes tipos de concreto:

Concreto prefabricado y pretensado.

Concreto de rápida puesta en servicio.

Concretos que requieran un rápido desmolde.

Concretos autocompactantes sin necesidad de vibración.

Características / ventajas:

Sika® ViscoCrete® - 20 HE actúa por diferentes mecanismos. Mediante su absorción superficial y el efecto de separación espacial de las partículas de cemento en paralelo al proceso de hidratación, se obtienen las siguientes propiedades:

Extremadamente alta reducción de agua, generando una alta resistencia, densidad e impermeabilidad del concreto.

Excelente fluidez, reduciendo al mínimo el trabajo en la colocación y compactación.

Incremento del desarrollo de resistencia inicial.

Reduce el gasto de energía en elementos prefabricados curados al vapor.

Fuerte comportamiento autocompactante. Por lo mismo, es altamente apropiado para la producción de concreto autocompactante, sin necesidad de vibración (Self Compacting Concrete – SCC).

Mejoramiento del comportamiento en fluencia y retracción.

Reducida velocidad de carbonatación del concreto.

Sika® ViscoCrete® - 20 HE no contiene cloruros u otro ingrediente Promotor de la corrosión por lo que puede ser utilizado sin restricciones en concreto Armado y pretensado.

Datos técnicos:

Líquido color gris a gris oscuro

Densidad:

1.08 Kg/L \pm 0.02

USGBC VALORACIÓN LEED

Aplicación:

Consumo/dosis: Se utiliza 0,5 – 1 % del peso del cemento. Dependiendo de la trabajabilidad y reducción de agua deseada.

Modo de empleo: El aditivo debe agregarse diluido en el agua de amasado al momento de mezclado o agregado simultáneamente con el agua al interior del mezclador.

Estas fueron las principales características de aditivo que fueron proporcionadas por la hoja técnica Sika® ViscoCrete® - 20 HE (edición 7), que se presenta en el anexo N° 08.02.

3.1.2.3 Adición Microsílice

Según **E. Rivva Lopez**, nos dice que este es obtenido del humo de chimeneas de altos hornos, 90 a 95 % de dióxido de sílice amorfo, con propiedades puzolánicas que reacciona con el hidróxido de calcio para formar un gel con notable incremento en las propiedades positivas del concreto (resistencia en compresión y durabilidad).

Según el Comité 116 del ACI “American Concrete Institute”, define a la microsílice como: “Una sílice no cristalizada muy fina producida por hornos de acero eléctrico como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio”.

La adición de microsílice generalmente incrementa la demanda de agua, para usarlo y mantener la misma relación a/c se debe emplear HRWRA o superplastificante, para obtener la trabajabilidad adecuada.

3.1.2.3.1 Características y propiedades de la microsílice empleada

La microsílice usada en el desarrollo de esta investigación fue la Sika® Fume, la cual cumple con la Norma ASTM C-1240; proporcionada por la empresa Sika Perú S.A., la misma que nos proporcionó la hoja Técnica de su producto que se encuentra en el anexo N° 08.03, de la cual mencionaremos algunas de sus principales características y propiedades:

Descripción

Es un aditivo en polvo compuesto por Microsílice (Sílica Fume) de alta calidad y que adicionando a la mezcla de concreto o mortero, disminuye el lavado del cemento en el vaciado de la mezcla bajo agua. No contiene cloruros y es recomendable su uso en conjunto con un superplastificante para obtener la fluidez necesaria para la colocación en obra.

Usos

En el concreto bajo agua en puertos, puentes, presas, reparaciones, rellenos, etc.

En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.

En concretos de alta impermeabilidad y durabilidad.

En concretos de alta resistencia (mayor de 500 kg/cm^2).

En concretos bombeados y proyectados.

En morteros y lechadas de inyección.

Características/ventajas

Disminuye la pérdida de cemento y elementos finos.

Aumenta la resistencia mecánica.

Aumenta la impermeabilidad.

Aumenta la resistencia química.

Aumenta la adherencia al acero.

Permite utilizar mezclas altamente fluidas con alta cohesión.

Aumenta la durabilidad frente a agentes agresivos.

Aumenta la resistencia a la abrasión.

Datos Básicos

Color: Gris.

Aspecto: Polvo.

Consumo/dosis: Puede utilizarse en dosis de aprox. 10% del peso del cemento.

Método de aplicación: se puede mezclar con productos Sikament o Viscocrete. La dosificación del concreto se realiza de acuerdo a la práctica normal para concreto bajo agua o para la aplicación específica que se requiera. La utilización conjunta de ambos productos asegura las características de cohesión, adherencia y resistencia en el concreto bajo agua. Se adiciona a la mezcladora junto con el cemento o la arena.

Datos técnicos

Apariencia: polvo gris.

Gravedad específica: 2.20.

Superficie específica (Blaine): 18 00 – 22 000 m^2/Kg .

Partícula: Amorfa de forma esférica.

Finura (diámetro promedio): 0.1 – 0.2 μm .

Porcentaje que pasa 45 μm : 95 – 100%

Cuadro N° 01: Análisis químico de la microsílce Sika Fume.

SiO ₂	93.0 % mínimo
Fe ₂ O ₃	0.8 % máximo
Al ₂ O ₃	0.4 % máximo
CaO	0.6 % máximo
MgO	0.6 % máximo
Na ₂ O	0.2 % máximo
K ₂ O	1.2 % máximo
C (libre)	2.0 % máximo
SO ₃	0.4 % máximo
Pérdida por ignición	3.5 % máximo

Fuente: Información proporcionada por el fabricante.

3.1.2.4 Cemento

3.1.2.4.1 Cemento usado

Para esta investigación, cuyo objetivo era elaborar un concreto de alta resistencia $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$ con insumos locales, se procedió a tratar de adquirir lo más que se pueda del mercado local, siendo este el segundo producto que más se usa en una mezcla de concreto, después del agregado; usando el cemento Portland tipo I Pacasmayo, la cual es procesada en la planta de la empresa PACASMAYO en la Prov. de Rioja; en presentación de bolsas de 42.5 Kg, cumple con la NTP 334.009 y ASTM C-150. Las características físicas y químicas del cemento usado se detallan a continuación en el cuadro N° 02:

Cuadro N° 02: Características físicas y químicas del Cemento Portland Tipo I – Pacasmayo.

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CSSA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	1.6	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.9	Máximo 3.5
Pérdida por Ignición	%	2.1	Máximo 3.0
Residuo Insoluble	%	0.45	Máximo 0.75

PROPIEDADES FÍSICAS		CSSA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	3	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.17	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	4250	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (kg/cm ²)	28.5 (291)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (kg/cm ²)	34.6 (353)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (kg/cm ²)	43.0 (439)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)
Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	180	Mínimo 45
Fraguado Final	min	307	Máximo 375

Fuente: Información proporcionada por el fabricante.

La hoja Técnica fue proporcionada por la empresa Cementos Selva S.A., la cual se adjunta en el Anexo N° 08.01.

3.1.2.5 Agua

Rivva Iopez, nos especifica que el agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma **NTP 339.088** y ser, de preferencia, potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. A continuación se presenta, en partes por millón (ppm), los valores aceptados como máximos para el agua utilizada en el concreto.

Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de magnesio.	150 ppm.
Sales solubles totales	500 ppm.
PH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1,500 ppm.
Materia orgánica	10 ppm.

El uso de agua para la fabricación del concreto se especifica para ser de calidad potable, esto es ciertamente conservador, pero normalmente no constituye un problema, puesto que la mayoría de veces se produce concreto cerca de un suministro local. Para el desarrollo de esta investigación se usó el suministro local en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería de Lima.

3.1.3 Recursos de equipos

Para la realización de la presente investigación, se necesitó de diversos equipos y maquinarias, las cuales son de propiedad del LEM-UNI y cuentan con la certificación ISO 9001. A continuación se presentan las más importantes:

Máquina de Los Angeles: Máquina que sirve para realizar el ensayo de abrasión del agregado grueso, que sirve para determinar la resistencia a la degradación a través de revoluciones y el uso conjunto de esferas de acero que van dentro de esta maquina.

Máquina diseñada de acuerdo con las especificaciones presentadas en la pág. 3 de la NTP 400.019.

Cono de Abrams: Es el molde que se usa para la medición del asentamiento o Slump del hormigón. De forma de un tronco cónico abierto en ambos extremos y bases paralelas y con las demás especificaciones que se encuentran en la pág. 2 de la NTP 339.035.

Tamizador: Máquina encargada de realizar el movimiento vertical y horizontal que imita la acción del zarandeo. Se usó dos tamizadoras, una para el agregado fino la cual es la que contiene los tamices de forma cilíndrica y para el agregado grueso se usó una tamizadora grande la cual cuenta con mallas de tamaños normalizados para el análisis granulométrico del agregado grueso.

Tamices: Son mallas de diferentes tamaños que retienen el agregado, logrando la separación granulométrica, los cuales luego se extraen de cada canastilla y se pesan para finalmente determinar la curva granulométrica.

Mallas hechas conforme con la NTP 350.001.

Balanza: Una balanza digital con una aproximación a 0.005 Kg y con exactitud al 0.1% de la carga de ensayo sobre el rango requerido para cada ensayo.

Varilla compactadora: Recta de acero liso de 16 mm (5/8") de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud y termina en punta semiesférica.

Recipiente de medida para Peso Unitario: El recipiente utilizado para la medida del peso unitario del agregado fino y del agregado de denominación de 3/8" fue el de capacidad de 1/10 Pie^3 y para el agregado de denominación de 1/2" se usó el recipiente de capacidad de 1/3 Pie^3 ; recipientes hechos bajo especificaciones de la NTP 400.017 (pág. 3)

Agujas de penetración: Estas sirven para realizar el ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración, resistencia que es medida por estas agujas que se instalan a intervalos regulares de

tiempo en el aparato de carga para luego penetrar al concreto tamizado que se encuentra en un contenedor. Agujas de penetración que tienen diámetros normalizados en la NTP 339.082 (pág.4).

Aparato de carga: Hidráulico o mecánico, con capacidad de carga de 600 N, provisto de un medidor de carga con aproximación de 10 N o menos. Es utilizada para realizar el ensayo para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de su resistencia a la penetración.

Termómetro: El termómetro de capacidad para medir la temperatura del mortero fresco con una aproximación de 0.5 °C; con un rango de – 20 °C a 50 °C.

Medidor de aire tipo B: Sirve para determinar el contenido de aire del concreto en estado fresco y consiste principalmente de en un tazón y una tapa, que normalizados de acuerdo con los requisitos presentes en la NTP 339.083 (pág. 3).

Estufa: estufas u horno del tamaño suficiente y con la capacidad de mantener una temperatura uniforme de 105 °C \pm 5 °C.

Mezcladora de concreto: Esta sirve para facilitar el trabajo al tener que mezclar todos los materiales para la fabricación de la mezcla de concreto, haciendo que el mezclado sea más uniforme y no se desperdicie el material. Para la realización de esta investigación se adquirió una mezcladora de 3.5 *pies*³ de 0.5 hp de potencia.

Máquina de ensayo uniaxial: Máquina que sirve para realizar el ensayo de resistencia a la compresión, máquina que somete a fuerzas en ambas superficies planas de una probeta o testigo de concreto, de manera que somete a compresión hasta que estas fallen. Con especificaciones de fabricación y uso según la NTP 339.034 (pág. 2) y con certificación ISO 9001.

También se usó los siguientes materiales: Martillo de goma, frasco volumétrico de 500 *cm*³, molde cónico, Contenedores o recipientes, Pipeta, Colorímetro ASTM C40, palana, pala de mano, Wincha, moldes cilíndricos de plástico de 4" x 8", entre otros.

3.1.4 Otros recursos

Material bibliográfico: Tesis, libros y link's de especialidad referente a la investigación.

Material de escritorio: USB, Impresora multifuncional, útiles de escritorio, etc.

Hardware de cómputo: Una Laptop (i5) y una Pc de escritorio (i3).

Software de cómputo: Microsoft office, Adobe Reader, Paint, Visualizador de imágenes, etc.

Internet.

Servicio de transporte y acomodo del agregado desde la región San Martín hacia la ciudad de Lima.

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 UNIVERSO, MUESTRA Y POBLACIÓN

3.2.1.1 Población o Universo

El Universo (U) está representado por la población numérica de ensayos a compresión de probetas cilíndricas de concreto de alta resistencia, realizados en la Región de San Martín. Cantidad que fue obtenida teniendo en cuenta la existencia de antecedentes respecto a esta clase en particular de ensayos realizados únicamente en esta Región, específicamente en esta Universidad; definiendo un Universo de 300 probetas, es decir, $U=300$ probetas.

3.2.1.3 Muestra

Para averiguar las propiedades del concreto diseñado, especialmente la resistencia a la compresión, se determinó un número de muestras a ensayar (representativa del universo para ser estudiada), cantidad de ensayos que se determinó semiprobabilísticamente con el objetivo de reducir el volumen de trabajo y dar mayor exactitud a los resultados; para finalmente inferir las consecuencias de esta investigación. Estableciendo finalmente que esta investigación demandara una muestra de 70 probetas.

3.2.2 SISTEMA DE VARIABLES

3.2.2.1 Variables Independientes

Cantidad de aditivo y adición.

La razón agua/cemento.

3.2.2.2 Variable Dependiente

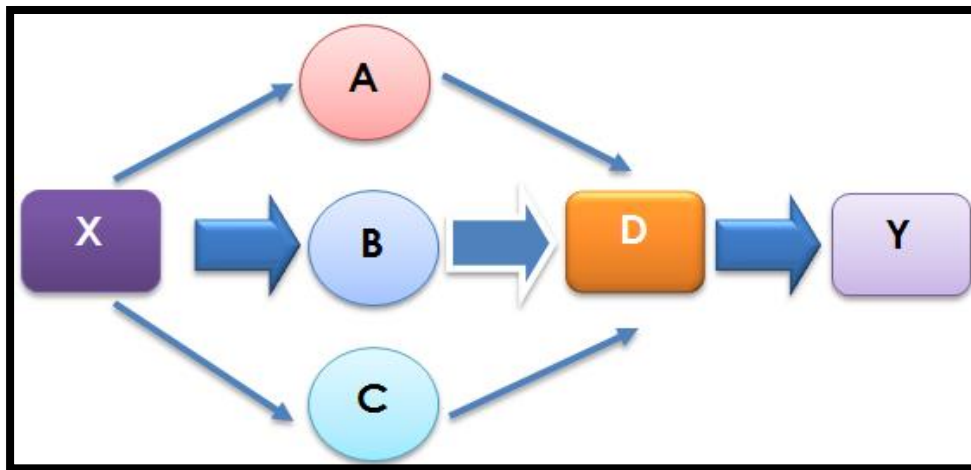
Diseño de un concreto de alta resistencia con $f'c=900 \text{ kg/cm}^2$

3.2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en Gabinete y en campo (Laboratorio).

El diseño de investigación es el siguiente:

Figura N° 14: Esquema de diseño de investigación.



Fuente: elaboración propia.

X: Necesidad de contar con especificaciones técnicas para obtener un concreto de alta resistencia de $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$ con insumos locales.

A: Aplicación de estudio socio – económico para conocer la necesidad.

B: Estudios de Ingeniería (laboratorio y gabinete) para levantar información requerida.

C: Estudios especiales para complementar la información (bibliográfico y uso de experiencias nacionales).

D: Estudios de compatibilidad de procesos y alternativas (diseños experimentales) que respaldan la toma de decisión para definir la alternativa de solución (diseño final).

Y: Resultado de la intervención que presenta la alternativa (diseño del concreto de alta resistencia de $f'c = 900 \text{ kg/cm}^2$) de solución del estudio definitivo.

3.2.4 DISEÑO DE INSTRUMENTOS

Primeramente, para lograr el desarrollo de esta investigación se establecieron diversas técnicas o instrumentos de solución de datos; los cuales se resumen en la importancia, métodos, exigencias y/o normas que se siguieron para el desarrollo de los ensayos y diseños para la obtención de un concreto de alta resistencia; y se resumen como sigue:

3.2.4.1 Propiedades físicas y químicas de los agregados:

Los agregados utilizados en esta investigación forman en promedio un 68 % del volumen total de cada una de las mezclas de concreto; participando en mayor proporción que cualquier otro material, otorgando muchas de las propiedades mecánicas (físicas y químicas) al concreto, haciendo indispensable los estudios físicos y químicos de este material previo al diseño.

Los agregados fueron adquiridos de una planta chancadora ubicada en la ciudad de Tarapoto, para el agregado grueso se consideró el uso de agregado comercial de denominaciones como piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ "; el agregado triturado considerado como arena representa el agregado fino, la cual es el restante del desprendimiento del proceso de chancado de las rocas, este se adquirió del mismo proveedor.

3.2.4.1.1 Propiedades físicas de los agregados.

El conocimiento de estas propiedades es de mucha importancia para estimar el comportamiento del concreto, ya que estos tienen gran participación en la elaboración de este (proporcionamiento), haciendo que sus propiedades condicionen mucho a la hora del diseño y la creación de este; propiedades que en este caso, al querer realizar un concreto de alta resistencia (el cual es de alta susceptibilidad a los cambios en su constitución), nos demanda un estricto control de calidad tanto en la cantera como en el laboratorio.

Los ensayos para determinar las propiedades físicas de los agregados se realizaron para dos muestras representativas (M1 y M2) del agregado fino y grueso

respectivamente (muestras que fueron seleccionadas por el método de cuarteo). El desarrollo de estos ensayos se realizó en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), cuya metodología usada está de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas vigentes y las Normas ASTM; y cuyos equipos cuentan con la certificación ISO 9001. Los ensayos fueron certificados a través de una constancia brindada por la jefe del laboratorio, que se presenta en el anexo N° 05 y estas se prueban en el panel fotográfico presentado en el anexo N° 07.

Peso Unitario de los agregados

Denominamos como peso unitario del agregado al peso que este alcanza por una unidad de volumen. Valor que sirve para determinar el tipo de material que se tiene (ligero o pesado), y en el caso de realizar proporciones de mezcla por volumen.

Cuyo valor depende de condiciones intrínsecas (forma, granulometría y tamaño máximo), factores externos como la relación entre el tamaño máximo con el recipiente utilizado para realizar el ensayo, la compactación, consolidación, el grado de acomodo de las partículas, etc. De acuerdo con el tipo de consolidación hay dos tipos de peso unitario: Suelto y Compactado.

Los pesos unitarios obtenidos fueron determinados según la **NTP 400.017**, cuyos valores se presentan en el capítulo IV, en los Cuadros 08, 09 y 10 respectivamente.

Peso Específico

El ensayo fue realizado según la **NTP 400.022**, con la que se logra determinar los pesos específicos: seco, saturado con superficie seca y el aparente; asimismo se logra determinar el porcentaje de absorción.

El Peso específico es un indicador de calidad, en cuanto más elevado se garantiza un buen comportamiento, mientras que si se obtiene un peso específico bajo indicara un mal comportamiento (absorbente y débil); este también es de gran relevancia para cuando se necesite que el concreto tenga un peso límite (Máximo o mínimo).

Los pesos específicos obtenidos en esta investigación tanto del agregado fino como del agregado grueso fueron establecidos según **NTP 400.022** y los resultados se muestran en el capítulo IV, en los cuadros 11, 12 y 13.

Absorción

La absorción es la capacidad que poseen los agregados para atrapar las moléculas de agua en sus poros, producido por la capilaridad. La importancia de saber esta propiedad de los agregados radica en el aporte de agua que estos proporcionen a la mezcla de concreto, cuyos resultados nos permitirán determinar la cantidad de agua exacta en la fabricación del concreto, y así evitar el exceso o escasa cantidad de agua en la mezcla; cuya proporción de agua determinara las propiedades más importantes en la mezcla de concreto tales como son la trabajabilidad y resistencia.

La absorción de los agregados (fino y grueso) utilizados en esta investigación fueron determinados según **NTP 400.022** y los valores obtenidos se presentan en el capítulo IV, detalladas en los cuadros 11, 12 y 13 respectivamente.

Contenido de humedad

Es la cantidad total de agua retenida por las partículas del agregado (superficial y absorbida), propiedad que varía en función del tiempo y de las condiciones ambientales, motivo por el que dicho ensayo se realizó previo a cada diseño bajo especificaciones de la **NTP 400.016**, pero para tener valores referenciales y en el marco de determinar las propiedades físicas de los agregados se obtuvieron estos valores, que se detallaran en el capítulo IV, en los cuadros 14 y 15.

Granulometría de los agregados

Es de gran importancia realizar estos estudios, ya que determinara el proporcionamiento adecuado de los agregados (finos y gruesos) para producir mezclas de la más alta compacidad y, por lo tanto, más resistentes y económicos. Cuya distribución y grado de acomodo también está relacionada directamente con las características de manejabilidad del concreto en estado fresco, la demanda de agua, compacidad y resistencia mecánica del concreto en estado endurecido.

Los límites granulométricos normalizados por la **NTP 400.037** para el agregado fino y grueso se muestran en las tablas 10 y 11 respectivamente. Los resultados de los análisis granulométricos se presentan en el capítulo IV, en los cuadros 16, 17 y 18; y sus curvas granulométricas se detallan en los gráficos 01, 02 y 03.

Tabla N° 10: Límites granulométricos para el agregado fino.

Tamiz estándar (abertura cuadrada)	Porcentaje que pasa
3/8" (9.51 mm)	100
N° 4 (4.75 mm)	95 a 100
N° 8 (2.38 mm)	80 a 100
N° 16 (1.19 mm)	50 a 85
N° 30 (0.595 mm)	25 a 60
N° 50 (0.297 mm)	5 a 30
N° 100 (0.148 mm)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana **NTP 400.037**

Tabla N° 11: Límites granulométricos para el agregado grueso.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg.)	90 mm (3 1/2 pulg.)	75 mm (3 pulg.)	63 mm (2 1/2 pulg.)	50 mm (2 pulg.)	37,5 mm (1 1/2 pulg.)	25,0 mm (1 pulg.)	19,0 mm (3/4 pulg.)	12,5 mm (1/2 pulg.)	9,5 mm (3/8 pulg.)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	4,75 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 15	---	---	---	---	---	---
2	63 mm a 37,5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 mm a 25,0 mm (2 a 1 pulg.)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	50 mm a 4,75 mm (2 pulg. a No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	0 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	37,5 mm a 19,0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	---	0 a 5	---	---	---	---
467	37,5 mm a 4,75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	25,0 mm a 12,5 mm (1 a 1/2 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25,0 mm a 9,5 mm (1 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25,0 mm a 4,75 mm (1 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	19,0 mm a 9,5 mm (3/4 a 3/8 pulg.)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19,0 mm a 4,75 mm (3/4 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12,5 mm a 4,75 mm (1/2 pulg. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg. a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	9,5 mm a 1,18 mm (3/8 pulg. a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana **NTP 400.037**

Para la realización de este ensayo, específicamente para el muestreo del agregado, se consideró la NTP 400.010; material que se procedió a mezclar bien y obtener una muestra significativa de ésta, que luego se sometió al método del cuarteo, reduciendo a mucho menos la cantidad representativa de todo el material, muestra que se usó para realizar los ensayos. Para la cantidad mínima de ensayos, se consideró lo establecido en la Norma y se presenta en la tabla 12:

Tabla N° 12: Cantidad mínima de muestra de ensayo para agregado grueso.

Tamaño Máx. Nominal mm (Pulgadas)	Cantidad de la muestra de ensayo mínimo
9.5 (3/8)	1
12.5 (1/2)	2
19 (3/4)	5
25 (1)	10
37.5 (1 ½)	15
50 (2)	20
63 (2 ½)	35

Fuente: José Gonzales García.

Módulo de finura de los agregados.

El módulo de fineza es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100, para este cálculo no se incluyen los tamices de 1" y ½". Teniendo como prioridad el resultado que se obtenga del agregado fino, que en esta investigación tiene un MF de **3.08**, valor determinado en este caso a partir del cuadro N° 16 (Cap. IV). Este valor es muy importante en lo referente a concretos de alta resistencia, valores de módulo de finura de 3 ± 0.3 son los que recomiendan diversos investigadores, dado que nuestro diseño tiene alto contenido de material cementante es conveniente utilizar agregados finos con un alto valor del módulo de fineza, pues contribuirá a producir concretos de adecuada trabajabilidad y resistencia a la compresión.

El módulo de finura se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados de acuerdo con la siguiente expresión:

$$MF = \sum \frac{\%(3+1\frac{1}{2}+3/4+3/8+N^{\circ} 4+N^{\circ} 8+N^{\circ} 16+N^{\circ} 30+N^{\circ} 50+N^{\circ} 100)}{100} \dots\dots\dots \text{Ecuac. 14}$$

Materiales más finos que pasan la malla N° 200 (75 µm)

Es el material más fino que se pueda encontrar en el agregado (menor a 75 µm) , constituido por arcilla y limo, se presenta recubriendo el agregado grueso, o mezclado en la arena. Sin embargo, este se presenta escasamente en lo que es arena procedente de la trituración del agregado, en donde gran porcentaje de este material fino es simplemente piedra pulverizada. Pese a ello, en el caso de que exista en un porcentaje considerable la presencia de arcilla y limo en el agregado, este afectara la adherencia del agregado y la pasta e incrementara la demanda de agua para la mezcla. Sin embargo, un moderado porcentaje de finos menores a 75 µm puede favorecer la trabajabilidad, pero su exceso afecta la resistencia a compresión del concreto. El agregado fino usado presenta un 7.9% que pasa la malla N° 200, el agregado grueso de denominación comercial de ½" presenta 0.13% y el de 3/8" presenta el 0.11%, determinados bajo la **NTP 400.018** y sus valores se muestran en el capítulo IV, en el cuadro N° 19.

Determinación de impurezas orgánicas

Ensayo que sirve para la determinación aproximada de impurezas orgánicas dañinas en el agregado fino que va a ser usado para la fabricación del concreto y para realizarlo se usa principalmente la **NTP 400.024**. Cuyo objetivo principal es obtener y analizar los resultados de las impurezas orgánicas presentes en nuestro agregado y en función de eso tomar las acciones necesarias para certificar el uso de un buen material. En el peor de los casos, al contener impurezas orgánicas perjudiciales para el concreto, estas menoscabarían la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de su resistencia. Cuyo ensayo se realizó bajo la norma ASTM C40 (prueba colorimétrica con hidróxido de sodio); y algunas referencias normativas como la NTP 311.059 (hidróxido de sodio, requisitos generales), NTP 311.003 (productos químicos industriales) la ASTM C87. Los resultados obtenidos del agregado fino, se ubican en el colorímetro número 1, muy por debajo del color estándar que es el N° 3, por lo tanto, concluimos que este material no contiene impurezas orgánicas perjudiciales. Cuyo resultado se presenta en el capítulo IV, en el cuadro N° 20.

Resistencia a la Abrasión (Maquina de Los Ángeles)

El método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles se realizó de acuerdo con lo especificado en la NTP 400.019. Este método de ensayo es una medida de las degradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales influyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número específico de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo y especialmente del TM y TNM. A estas se les da unas 100 revoluciones inicialmente, se saca, se tamiza usando el tamiz N°12 y se obtiene el porcentaje de desgaste inicial, luego se vuelve a introducir el material restante (retenido en la malla N° 12) y se le da 400 revoluciones, para hacer un total de 500 revoluciones, repitiendo el mismo método para determinar el desgaste final y así obtener el porcentaje de desgaste de nuestro agregado.

La resistencia a la abrasión se usa generalmente como un índice de calidad del agregado grueso, ya que este es prácticamente el material más usado en una mezcla de concreto, será primordial saber si es o no de buena calidad (resistente); se realizaron ensayos a los agregados gruesos de denominación comercial como piedra chancada de ½" y 3/8" separadamente, cuyos valores se presentan en el Capítulo IV, en las tablas 21 y 22 respectivamente.

3.2.4.1.2 Propiedades químicas de los agregados

El análisis del contenido químico en los agregados, se basó principalmente en determinar la presencia de agentes dañinos y/o sustancias nocivas al concreto como son: los sulfatos, cloruros y sales solubles; métodos y ensayos realizados en el Laboratorio de Química de la FIC-UNI por técnicos e ingenieros especialistas en el tema, que certificaron sus resultados basándose en las normas NTP, ASTM y AASHTO.

Se realizó ensayos químicos para determinar cloruros, sulfatos y sales solubles para el agregado fino (piedra triturada) y para el agregado grueso de denominación como piedra chancada de 3/8"; no se realizó el ensayo para el agregado grueso de

denominación comercial como piedra chancada de ½" debido a que se trató de optimizar recursos y números de ensayos, pero principalmente porque es un material proveniente de la misma cantera, misma chancadora, simplemente de diferente denominación comercial.

Características que sirven para pronosticar como influirá en la creación del concreto, también para ver si es que este tendrá una buena evolución de sus propiedades físicas (resistencia) y para determinar si interactuará adecuadamente con otros materiales como el acero (para casos aplicativos).

Determinación de Cloruros solubles:

La **NTP 339.177** establece el procedimiento de ensayo para la determinación del contenido ión cloruro soluble en agua contenido en el agregado, mediante el método de Mohr. Resultados brindados por el Lab. de Química de la FIC-UNI, certificados bajo normas ASTM D 3370 y AASHTO T-291. Resultados que se muestran en el capítulo IV, específicamente en los cuadros N° 23 y 24; y cuyo informe de ensayo químico se presenta en el anexo N° 01.02.

Determinación de Sulfatos solubles:

Realizado según **NTP 339.178**, donde se establece el procedimiento para la determinación del contenido de sulfatos (SO₄). Resultados brindados por el Lab. de Química de la FIC-UNI, certificados bajo normas ASTM E 275 y AASHTO T-290. Resultados que se muestran en el capítulo IV, específicamente en los cuadros N° 23 y 24; y cuyo informe de ensayo químico se presenta en el anexo N° 01.02.

3.2.4.2 Metodología para el diseño de mezclas

Una vez determinadas y analizadas las propiedades físicas y químicas se procedió a realizar el diseño, tal como se indica a continuación:

3.2.4.2.1 Combinación de los agregados

Combinación óptima del agregado grueso:

Debido a que para esta investigación se adquirieron dos tipos de agregados gruesos de denominaciones comerciales como piedra chancada de ½" y 3/8" y con el fin de que

estos al ser combinados logren el mejor grado de acomodamiento en la mezcla, se les realizó los ensayos antes mencionados para determinar sus propiedades físicas y químicas; de los cuales, los usados para estimar la combinación que se adecuó al HUSO 7 presentado en la NTP 400.037 y/o ASTM C-33, fueron los ensayos de granulometría.

Para obtener las cantidades porcentuales de la piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " y la de $\frac{3}{8}$ ", se usó una metodología empírica. Esta metodología se basa en la granulometría obtenida de ambos agregados gruesos mencionados, a los cuales se les asigna porcentajes de participación y de acuerdo con su similitud máxima con los límites establecidos en el HUSO 7 de la NTP 400.037. Los resultados se presentan en el capítulo IV, en el cuadro N° 25 y el gráfico 04. El análisis para la obtención de este resultado se presenta en el anexo N° 01.01.02.03.

Combinación de los agregados (fino y Grueso)

Para la combinación del agregado grueso (combinación óptima) y el agregado fino, se usó el método propuesto por el comité 211.4 del ACI, específicamente en el paso 3 de éste, donde de acuerdo al tamaño nominal máximo que para mi caso es de $\frac{1}{2}$ " y cuyo método recomienda usar un 68% del PUC del agregado grueso por unidad de volumen de concreto, que luego al seguir los demás pasos y obtener la cantidad de agregado fino, vemos que estos participan en relación A.F./A.G. diferente para cada uno de los diseños (C°P: 38/62, C°AS: 32/68 y MN 9.5: 36/64), adecuándose a los insumos adicionales que cada tipo de mezcla presenta y buscando el mejor grado de acomodo de sus partículas; representando en promedio el 68% del volumen total de la mezcla de concreto.

3.2.4.2.2 Diseño de mezcla del concreto

Se desarrollaron tres tipos de diseños diferentes: Concreto patrón (C°P), concreto más aditivo superplastificante (C°AS) y un concreto con aditivo superplastificante más microsilíce al 9.5% (MS 9.5); con la finalidad de obtener un concreto de alta resistencia con $f'c = 900 \text{ Kg/Cm}^2$ a los 28 días. Los tres concretos mencionados, se diseñaron con la finalidad para compararse entre sí, demostrar que un aditivo o una adición pueden generar grandes cambios en el diseño del concreto; por lo que iniciamos mostrando algunas características de cada diseño:

Concreto Patrón (C°P)

Para el diseño del concreto patrón se usó el método de diseño de mezclas de Bolomey, método que emplea el LEM-UNI por su alto grado de eficacia y eficiencia en sus resultados. La hoja de cálculo del diseño fue proporcionado por el LEM-UNI.

Teniendo de conocimiento que concretos realizados simplemente con los materiales comunes (agregados, cemento y agua) no alcanzan una resistencia $F'c \geq 900 \text{ Kg/Cm}^2$, es necesario hacer hincapié que ésta mezcla solo se realizó con la intención de obtener y comparar sus propiedades y costos de fabricación con el diseño final (MS 9.5), siendo este el primer paso que tenía como único objetivo el saber como se comportarían los elementos básicos (agua, cemento y agregados) al mezclarse. Ésta se diseñó para obtener la máxima resistencia posible, la mejor consistencia y manejabilidad, así como también se buscó que ésta tenga similar cantidad de cemento que los diseños C°AS y MS 9.5.

Obteniendo una combinación AF/AG de 38/62, se empleó un contenido de cemento igual a 590 Kg/m^3 y una relación A/C de 0.40 para obtener un asentamiento de 3 a 4 pulgadas. Este diseño no posee en su composición ningún aditivo ni adición. La hoja del diseño final se presenta en el capítulo IV, en el cuadro N° 27.

Concreto más aditivo superplastificante (C°AS)

Para el diseño del concreto con aditivo (C°AS) se siguió el mismo método del Comité ACI 211.4, obteniendo una relación AF/AG de 32/68, contenido de cemento casi constante 595 Kg/m^3 , una relación A/C de 0.25 y una dosis de aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20 HE del 1.50% del peso del cemento.

Esta mezcla se diseñó también para obtener la máxima resistencia posible y la mejor manejabilidad en estado fresco, teniendo como antecedentes las propiedades presentadas en la mezcla C°P. Este diseño se realizó con el objetivo de encontrar la dosis adecuada del aditivo superplastificante, que genere las más óptimas propiedades en estado fresco, y así pasar al último paso y diseñar el concreto con aditivo más la adición del microsílíce que es el principal objetivo de esta investigación, y es cuya mezcla tiene más probabilidad de éxito según antecedentes de otras investigaciones.

Desarrollo del método de diseño de mezcla:

Para el diseño del concreto más aditivo superplastificante se siguió como base el método propuesto por el Comité ACI 211.4, además se consideró investigaciones pasadas, tanto nacionales como locales; el método del ACI 211.4 abarca el rango de resistencia a la compresión entre 450 a 840 Kg/Cm² en sus diseños, motivo por lo cual se consideraron variar algunos datos, variaciones que se hicieron a través de experimentaciones, en la que se buscó OPTIMIZAR recursos (especialmente la cantidad de cemento) con el fin de obtener las mejores propiedades del concreto (en estado fresco y endurecido); haciendo de este método algo semi-empírico.

A continuación se explica paso a paso las consideraciones tomadas para el diseño, cabe recalcar que las tablas, pasos y ecuaciones son los mismos propuestos por el Comité ACI 211.4, se encuentran en el capítulo II de esta investigación, en el ítem 2.5.2.4.2 por lo que no se referenciará:

Paso N° 01:

Seleccionar el slump y la resistencia del concreto requerido: Se determinó según la tabla N° 01; donde nos recomiendan obtener de **1" a 2"** de slump sin el uso del aditivo superplastificante y así producir exitosamente un CAR (ensayo que se realiza separadamente, ya que el aditivo con el agua deben ser mezclados y/o usados simultáneamente); esto aseguró una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitió que el superplastificante sea efectivo. Recordemos que la elección del slump es de suma importancia para el paso N° 04.

El C°SP fue trabajado con una relación Agua/Cemento bien baja, razón suficiente para obtener una mezcla parcialmente seca sin el uso del aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante), consiguiendo un asentamiento o Slump que se encuentra en el rango entre 1" a 2".

Para la determinación de la resistencia requerida del concreto se concluyó con la no existencia de un registro de pruebas anteriores de diseños de concreto de alta resistencia de $f'c = 900 \text{ Kg/Cm}^2$ con insumos de la Región San Martín, calculando la resistencia requerida promedio del concreto a los 28 días con la Ecuac. 04.

$f'_{cr} = 1109 \text{ Kg/Cm}^2$ resistencia a la compresión promedio requerida a 28 días.

Paso N° 02:

Seleccionar el tamaño máximo del agregado: Este se determinó de acuerdo a la tabla N°2, donde nos especifica que para obtener resistencias mayores a 630 Kg/Cm^2 , debe usarse agregado grueso de Tamaño Nominal máximo (TNM) entre 3/8" a 1/2". Conociendo que a menor tamaño del agregado, mayor será su grado de acomodo (menos vacíos), generando mayor compacidad, manejabilidad, homogeneidad en el mezclado y mayor resistencia a la compresión. Se usó agregado grueso de TNM de 1/2", específicamente piedra chancada (superficie rugosa con mayor área superficial para adherirse a la pasta del cemento).

Paso N° 03:

Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso: Porcentaje que fue considerando teniendo en cuenta la resistencia y el tamaño nominal máximo del agregado grueso. Sin embargo, otro requisito indispensable para poder usar la tabla N° 03, era que el módulo de finura se encuentre entre 2.5 y 3.2, requisito que fue cumplido por el agregado fino usado, que tiene un M.F.= 3.08.

De la tabla N° 03 se obtuvo que la fracción volumétrica a usar del peso seco del agregado grueso sea el 68% del Peso Unit. Compactado (PUC) del agregado grueso (Ecuac. 05).

Paso N° 04:

Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire: la demanda de agua es dependiente de: el Slump que se requiera, tamaño nominal máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de superplastificante. Cabe mencionar que a esta mezcla se le adiciono el aditivo sin considerar su aporte como contenido de agua para el cálculo de la relación agua cemento.

Se usó la Tabla N° 04, la cual nos da una primera estimación del agua de mezclado a usar sin la adición del aditivo, y los valores estimados del aire atrapado. Cantidades que son recomendadas para un material bien gradado, angular y limpio que cumpla con

la norma ASTM C-33; características que cumple el agregado grueso usado. También, para poder usar esa tabla, se recomienda que el agregado fino (A.F.) sea un material que tenga partículas redondeadas y lisas (forma y textura) y su módulo de finura debe estar entre 2.5 y 3.2, ya que esto INFLUYE SIGNIFICATIVAMENTE en la demanda de agua y el contenido de vacíos; parámetros que el A.F. usado no cumple a su totalidad, ya que es agregado triturado, el cual se obtiene del saldo del chancado y/o desintegración de la piedra que logra pasar una malla de 5 mm de espesor, conteniendo gran porcentaje de partículas planas producto de su proceso de obtención.

Consideraciones y criterios previos para la elección de los requerimientos aproximados de agua y contenido de vacíos:

Usar relación agua/cemento bien baja para lograr un CAR (uso de aditivo superplastificante clase F).

Usar un mínimo de agua y así optimizar el recurso cemento.

Obtener una mezcla trabajable y/o de buena consistencia.

Propiedades físicas de los agregados (forma, textura, TM $\frac{3}{4}$ ", TNM: $\frac{1}{2}$ ", etc.).

Con todas esas consideraciones y criterios más las diversas experimentaciones que se realizaron para obtener un concreto manejable, los requerimientos aproximados de agua son los siguientes:

Agua de mezclado: 180 Kg/m^3

Aire atrapado V% : 1.5

Previo a estos valores, se inició considerando la Tabla N° 04, donde para el slump de 1" a 2" y para el uso de agregado con tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ", esta indicaba usar 174 Kg/m^3 de agua y un contenido de aire atrapado del 2%, valores que no resultaron adecuados. Realizando diversos ensayos y cambios en el DISEÑO con respecto a estos valores, que se tuvieron en consideración de acuerdo con lo siguiente:

Agregado fino procedente de la trituración de rocas, conformado por partículas alargadas, planas y de textura rugosa a un gran porcentaje, al igual que finos; demandando más agua (previa experimentación).

Debido al uso del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, reductor de agua de alto rango, clase F. El alto poder de compacidad hizo que considere reducir el porcentaje de aire atrapado de 2 % a 1.5% obteniendo excelentes resultados al final de cada experimentación (realización de mezcla).

Como los valores de la Tabla N° 04 son aplicables cuando el agregado fino tiene un contenido de vacíos del 35%, se determinó el contenido de vacíos de éste usando la ecuación. N° 06; obteniendo que el contenido de vacíos del agregado fino es del 28.39%, la cual se llevó a la ecuación N° 07, con la que se obtuvo la cantidad de agua (Kg/m^3) para realizar el primer ajuste del agua de mezclado.

Paso N°05:

(*) La IDEA y la base para determinar la relación Agua/cemento (A/C), para lo cual primero se obtiene la resistencia requerida reajustada al 90%:

$$f'_{cr} = 1109 * 0.9 = 998.1 \text{ Kg/Cm}^2$$

Recordemos que esta tabla proporcionada por el ACI solo abarca en su diseño hasta una resistencia promedio reajustada $f'_{cr} (*) = 850 \text{ Kg/cm}^2$ (A/C=0.26 a 28 días), muy inferior a la demandada de esta investigación. Por lo que la elección de la relación A/C se determinó de acuerdo con experiencias pasadas, como la hecha por el Ing. Edher Huincho Salvatierra en el año 2011, quien utilizando una relación A/C= 0.25 más aditivo superplastificante; consiguió una resistencia de 874 Kg/cm^2 a los 28 días y 922 Kg/cm^2 a los 90 días, resistencias que según antecedentes a nivel nacional, son las máximas alcanzadas (solo con el uso del aditivo superplastificante).

Considerando lo antes mencionado y la no existencia de concretos de tales magnitudes de resistencia fabricados a nivel regional y mucho menos con AGREGADOS LOCALES (Región San Martín), se consideró por trabajar con la relación A/C = 0.25, logrando buenos resultados.

Paso N° 06

Cálculo del contenido de material cementicio: Una vez que tenemos la relación Agua/Cemento $A/C = 0.25$ y la cantidad de agua ajustada “A” (paso N° 04), el peso del material cementicio requerido por m^3 de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c seleccionada.

Paso N° 07

Proporcionamiento de la mezcla de prueba base: Una vez obtenido la cantidad de cemento, agregado grueso, contenido de vacíos y de agua; el último insumo que le falta es la arena, por lo cual se usó el método de volúmenes absolutos. Este método consiste en dividir el peso de cada material entre su peso específico y así obtener su proporción en unidad de metro cúbico, para luego restar la suma de todos estos volúmenes menos la unidad y así obtener la diferencia que representara el volumen de arena, que se multiplica por su peso específico y se obtiene el peso de la arena por metro cúbico de concreto.

Paso N° 08

Proporcionamiento de mezclas usando diatomitas: La diatomita en este caso viene a estar representada por la microsilíce, pero en este diseño de mezclas no se va a tomar en cuenta, por lo tanto, tiene una participación del 0%, pasando al siguiente paso.

Paso N° 09

Ajuste final del contenido de agua: El hecho de que el agregado se encuentre a la intemperie y este sujeto a cambios de temperatura, humedad, etc., obliga a obtener el contenido de humedad previo a cada diseño de mezcla, que con el % de absorción se utilizan de la siguiente manera:

Ecuac. N° 15:

$$\text{Ajuste de agua}_{\text{agreg.}} : \text{Peso}_{\text{Agreg.}} (\text{Cont Humedad}_{\text{Agreg.}-\text{actual}} - \text{Absorción}_{\text{Agreg.}})$$

Esta ecuación se usa para cada uno de los agregados (fino y grueso) independientemente.

Finalmente, se suman las cantidades de ajuste de agua obtenida del agregado fino y del agreg. Grueso, y este valor va a restar a la cantidad de agua que se tenía previo a este paso, y así obtener el agua de mezclado final.

Paso N° 10

Ajuste del agregado por contenido de humedad: Finalmente, se realiza el ajuste del peso del agregado por contenido de humedad, para esto se usa la siguiente ecuación:

Ecuac. N° 16:

$$\text{Peso corregido}_{\text{Agregado}} : \text{Peso}_{\text{Agreg.}} (1 + \text{Cont Humedad}_{\text{Agreg.-actual}})$$

Estos pesos corregidos son los pesos finales de los agregados en el diseño.

Paso N° 11

Obtención de la dosis del aditivo superplastificante: Este paso es el más laborioso de todo este diseño, la determinación de la dosis adecuada del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE; la cual se sometió a diversas variaciones en su dosificación, tratando de evitar que la mezcla presente segregación, exudación; en otras palabras, que sea trabajable y homogéneo. Se consideraron investigaciones hechas por Edher Wincho Salvatierra, quien usa el 3% del peso del cemento, también las especificaciones de modo de uso dadas en la ficha técnica del proveedor del aditivo.

Para lo cual se ensayaron con diversas dosificaciones (aditivo, agua y valor estimado del aire atrapado), que a continuación se presentan en el cuadro N° 03, detallando sus observaciones y algunas características que son fundamentales para el desarrollo de esta experimentación:

Cuadro N° 03: Experimentación realizada para obtener la dosis adecuada de aditivo superplastificante.

AF/AG	A/C	VISCOCRETE 20HE	PESO (KG/M3)		MÉTODO USADO	OBSERVACIONES
		% ADITIVO	CEMENTO	AGUA		
SE INICIÓ PROBANDO CON ESTE MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS, DISEÑO QUE SE USA EN EL LEM-UNI						
37/63	0.23	2.2	826.1	197	BOLOMEY	Concreto medianamente autocompactante, presenta segregación y exudación en grado medio, muy elastico (9 1/2" de slump), duro a la penetración, NO TRABAJABLE, ademas se usa mucho cemento.
37/63	0.25	2.8	736	187	BOLOMEY	Concreto de alta capacidad autocompactante, segregación y exudación en grado máximo, muy fluido (≥ 10" de slump), duro a la penetración, NO TRABAJABLE, ademas se usa mucho cemento.
SE CAMBIO DE MÉTODO DE DISEÑO, SE TRABAJO CON AGUA ESTIMADA INICIAL DESDE 189 A 183 LTS Y SE USÓ UN CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO CON SP DE 2%, DATOS CONSIDERADOS PARA PIEDRA DE T.M. 1/2"						
29/71	0.25	2.4	684	178	ACI 211.4	Concreto autocompactante, presenta segregación y exudación en grado medio, muy fluido (≥ 10" de slump), duro a la penetración, MEDIANAMENTE TRABAJABLE.
33/67	0.26	2.1	664	172.8	ACI 211.4	Sigue presentando segregación al punto de dejar "lavadas" las piedras, de modo que todo el material fino de la mezcla se sedimenta. Presenta exudación.
33/67	0.25	2	671	168	ACI 211.4	Sigue presentando segregación al punto de dejar "lavadas" las piedras, de modo que todo el material fino de la mezcla se sedimenta. Presenta exudación.
38/62	0.26	2	607	158	ACI 211.4	Se usó 300 gr de maicena/tanda de 10 lts de concreto para evitar la segregación y exudación (como alternativa de aditivo tipo D), pero no se obtuvo resultados óptimos y/o adecuados; menos resistencia a la penetración y más trabajable.
SE AJUSTÓ EL AGUA INICIAL DE DISEÑO A 180 Y SE USÓ UN CONTENIDO DE AIRE DE 1.5%, DATOS MODIFICADOS DE ACUERDO A LO DICHO EN EL PASO N° 04.						
38/62	0.25	1.44	595	149	ACI 211.4	No segrega ni exuda, de consistencia fluida (slump: 7") y de sensación de fraguado rápido, POCO TRABAJABLE
38/62	0.25	1.49	595	157	ACI 211.4	Se logró conseguir la mezcla perfecta, sin segregación ni exudación; en otras palabras de una mejor trabajabilidad. La consistencia fue menor a 9" de slump. DISEÑO ADECUADO.

Fuente: Elaboración propia.

Estas son algunos de los diseños más importantes realizados, los cuales se analizaron y perfeccionaron a través de la experimentación, para lograr determinar que la dosis adecuada del superplastificante es de 1.40 % del peso del cemento. Cabe recalcar que ésta se añadió más no suplanto o fue considerada por el agua de mezclado (El agua que se menciona en éste cuadro corresponde a la proporción en obra).

La hoja del diseño final se presenta en el capítulo IV, en el cuadro N° 28.

Concreto con aditivo superplastificante más microsilíce al 9.5% (MS 9.5)

Para el diseño del concreto con aditivo superplastificante más la adición del microsilíce, se analizaron diversas investigaciones tratando de encontrar la dosis de la microsilíce que nos de los mejores resultados respecto a la resistencia a compresión; determinando que la dosis entre un 9 a 10% del peso del cemento eran las más óptimas, por lo cual se consideró usar la dosis del 9.5% del peso del cemento, abreviando a este concreto como **MS 9.5**. Este diseño se guía del mismo método usado anteriormente (ACI 211.4), obteniendo una relación AF/AG de 36/64, con un peso inicial del cemento de 615 Kg/m^3 , contenido de cemento final de 557 Kg/m^3 , contenido de microsilíce de 58 Kg/m^3 (9.5 % del peso inicial del cemento); como se aprecia, la adición suplantó en cantidad al cemento. Una relación A/C de 0.25 y una dosis del aditivo superplastificante de 1.4 % del peso inicial del cemento. Cuando hacemos referencia a “peso inicial del cemento” nos referimos a la cantidad total que debería tener de cemento, pero que es cambiada en un 9.5% por microsilíce, razón por lo que el resultado de esta suplantación nos da un peso de cemento final + adición de la microsilíce.

Ésta mezcla representa el diseño final de la investigación, para la cual fueron útiles los diseños previos (C°P y C°AS); la cual se diseño y rediseño a base de experimentaciones hasta obtener una mezcla manejable y/o trabajable; diseñada para obtener la máxima resistencia posible.

Desarrollo del método de diseño de mezcla:

Para el diseño del concreto con aditivo superplastificante más microsilíce se siguió como base el método propuesto por el Comité ACI 211.4, además se consideró investigaciones pasadas, tanto nacionales como locales; el método del ACI 211.4 abarca el rango de resistencia a la compresión entre 450 a 840 Kg/Cm^2 en sus diseños, motivo por lo cual se consideraron variar algunos datos, variaciones que se hicieron a través de experimentaciones, en la que se buscó OPTIMIZAR recursos (especialmente la cantidad de cemento) con el fin de obtener las mejores propiedades del concreto (en estado fresco y endurecido); haciendo de este método algo semi-empírico. A continuación se explica paso a paso las consideraciones tomadas para el diseño, cabe recalcar que las tablas, pasos y ecuaciones son los mismos propuestos por el Comité

ACI 211.4, se encuentran en el capítulo II de esta investigación, en el ítem 2.5.2.4.2 por lo que no se referenciara:

Paso N° 01:

Seleccionar el slump y la resistencia del concreto requerido: Se determinó según los resultados de la experimentación para la creación del C°AS; donde finalmente haciendo los reajustes necesarios se usa prácticamente un slump de diseño de **2" a 3"** sin el uso del aditivo superplastificante y así producir exitosamente un CAR (ensayo que se realiza separadamente, ya que el aditivo con el agua deben ser mezclados y/o usados simultáneamente); asegurando una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitiendo que el superplastificante sea efectivo, recordemos que la elección del slump es de suma importancia para el paso N° 04.

Para la determinación de la resistencia requerida del concreto, se estableció la no existencia de registro de pruebas anteriores de diseños de concreto de alta resistencia de $f'c = 900 \text{ Kg/Cm}^2$ con insumos de la Región San Martín, calculando la resistencia requerida promedio del concreto a los 28 días con la Ecuac. 04.

$f'_{cr} = 1109 \text{ Kg/Cm}^2$ resistencia a la compresión promedio requerida a 28 días.

Paso N° 02:

Seleccionar el tamaño máximo del agregado: Este se determinó de acuerdo con la tabla N°2, donde nos especifica que para obtener resistencias mayores a 630 Kg/Cm^2 , debe usarse agregado grueso de Tamaño Nominal máximo (TNM) entre 3/8" a 1/2". Conociendo que a menor tamaño del agregado, mayor será su grado de acomodo (menos vacíos), generando mayor compacidad, manejabilidad, homogeneidad en el mezclado y mayor resistencia a la compresión. Se usó agregado grueso de TNM de 1/2", específicamente piedra chancada (superficie rugosa con mayor área superficial para adherirse a la pasta del cemento).

Paso N° 03:

Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso: Porcentaje que fue considerando teniendo en cuenta la resistencia y el tamaño nominal máximo del agregado grueso. Sin embargo, otro requisito indispensable para poder usar la tabla N°

03, era que el módulo de finura se encuentre entre 2.5 y 3.2, requisito que fue cumplido por el agregado fino usado, que tiene un M.F.= 3.08.

De la tabla N° 03 se obtuvo que, la fracción volumétrica a usar del peso seco del agregado grueso sea el 68% del Peso Unit. Compactado (PUC) del agregado grueso (Ecuac. N° 05).

Paso N° 04:

Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire: la demanda de agua es dependiente de: el Slump que se requiera, tamaño nominal máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento, cantidad y tipo de microsílice y superplastificante. Cabe mencionar que a esta mezcla se le adicionó el aditivo sin considerar su aporte como contenido de agua para el cálculo de la relación agua cemento y que la microsílice reemplazó un 9.5 % del peso del material cementante.

Se usó la Tabla N° 04, la cual nos da una primera estimación del agua de mezclado a usar sin la adición del aditivo, y los valores estimados del aire atrapado. Cantidades que son recomendadas para un material bien gradado, angular y limpio que cumpla con la norma ASTM C-33; características que cumple el agregado grueso usado.

También, para poder usar esa tabla, se recomienda que el agregado fino (A.F.) sea un material que tenga partículas redondeadas y lisas (forma y textura) y su módulo de finura debe de estar entre 2.5 y 3.2, ya que esto INFLUYE SIGNIFICATIVAMENTE en la demanda de agua y el contenido de vacíos; parámetros que el A.F. usado no cumple a su totalidad, ya que es agregado triturado, el cual se obtiene del saldo del chancado y/o desintegración de la piedra que logra pasar una malla de 5 mm de espesor, conteniendo gran porcentaje de partículas planas y rugosas producto de su proceso de obtención.

Consideraciones y criterios previos para la elección de los requerimientos aproximados de agua y contenido de vacíos:

Usar relación agua/cemento bien baja para lograr un CAR (uso de aditivo superplastificante clase F).

Usar un mínimo de agua y así optimizar el recurso cemento.

Obtener una mezcla trabajable y/o de buena consistencia

Propiedades físicas de los agregados (forma, textura, TM $\frac{3}{4}$ ", TNM: $\frac{1}{2}$ ", etc.).

Con todas esas consideraciones y criterios más las diversas experimentaciones que se realizaron para obtener un concreto manejable, los requerimientos aproximados de agua son los siguientes:

Agua de mezclado: 185 Kg/m^3

Aire atrapado V% : 1.5

Previo a estos valores, se inició considerando la Tabla N° 04, donde para el slump de 2" a 3" y para el uso de agregado con tamaño máximo nominal de $\frac{1}{2}$ ", esta indicaba usar 183 Kg/m^3 de agua y un contenido de aire atrapado del 2%, valores que no resultaron adecuados. Realizando diversos ensayos y cambios en el DISEÑO con respecto a estos valores, que se tuvieron en consideración de acuerdo con lo siguiente:

Agregado fino procedente de la trituración de rocas, conformado por partículas alongadas, planas y de textura rugosa a un gran porcentaje, al igual que finos; demandando más agua (previa experimentación).

La adición de microsílice generalmente incrementa la demanda de agua, para usarlo y mantener la misma relación A/C se debe emplear superplastificante y así obtener la trabajabilidad adecuada.

Debido al uso del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE, reductor de agua de alto rango, clase F. El alto poder de compacidad hizo que considere reducir el porcentaje de aire atrapado de 2 % a 1.5% obteniendo excelentes resultados al final de cada experimentación (realización de mezcla).

Como los valores de la Tabla N° 04 son aplicables cuando el agregado fino tiene un contenido de vacíos del 35%, se determinó el contenido de vacíos de este usando la ecuación. N° 06; obteniendo que el contenido de vacíos del agregado fino es del

28.39%, la cual se llevó a la ecuación N° 07, con la que se obtuvo la cantidad de agua (Kg/m^3) para realizar el primer ajuste del agua de mezclado.

Paso N°05:

Seleccionar la relación agua/materiales cementicios: De la tabla 05^b se obtuvo la IDEA y la base para determinar la relación Agua/cemento (A/C), para lo cual primero se obtiene la resistencia requerida reajustada al 90%:

$$f'_{cr} = 1109 * 0.9 = 998.1 \text{ Kg}/\text{cm}^2$$

Recordemos que esta tabla proporcionada por el ACI solo abarca en su diseño hasta una resistencia promedio reajustada $f'_{cr} (*) = 850 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ (A/C=0.26 a 28 días), muy inferior a la demandada de esta investigación. Por lo que la elección de la relación A/C se determinó de acuerdo con experiencias pasadas, como la hecha por el Ing. Edher Huincho Salvatierra en el año 2011, quien utilizando una relación A/C= 0.25, aditivo superplastificante y adición de microsílice; consiguió una resistencia de $1208 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ a los 28 días y $1423 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ a los 90 días, resistencias que según antecedentes a nivel nacional, son las máximas alcanzadas.

Considerando lo antes mencionado y la no existencia de concretos de tales magnitudes de resistencia fabricados a nivel regional y mucho menos con AGREGADOS LOCALES (región San Martín), se consideró por trabajar con la relación A/C = 0.25, logrando buenos resultados.

Paso N° 06

Cálculo del contenido de material cementicio: Una vez que tenemos la relación Agua/Cemento (A/C) = 0.25 y la cantidad de agua ajustada “A” (paso N° 04), el peso del material cementicio requerido por m^3 de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c seleccionada.

Paso N° 07

Proporcionamiento de mezclas usando diatomitas: La diatomita en este caso viene a estar representada por la microsílice, la cual tiene una participación del 9.5 % del peso del material cementicio; material que reemplazó al cemento en dicho porcentaje.

Previo a la elección del porcentaje de reemplazo de la microsílice por el cemento, se analizó diversas investigaciones tratando de encontrar la dosis de la microsílice que nos de los mejores resultados respecto a la resistencia a compresión y manejabilidad del concreto; determinando que la dosis entre un 9 a 10% del peso del cemento eran las más óptimas, por lo cual se consideró usar la dosis del 9.5% del peso del cemento, abreviando a este concreto como **MS 9.5**. Sin embargo, también se consideró lo siguiente:

La microsílice, obtenido del humo de chimeneas de altos hornos, 90 a 95 % de su composición es dióxido de sílice amorfo, con propiedades puzolanas que reaccionan con el hidróxido de calcio para formar un gel con un notable incremento en las propiedades positivas del concreto.

Cuando el microsílice se reemplaza por la masa del cemento, ésta por ser menos densa aumenta el volumen en contenido, reduciendo la relación A/C sobre la base de los volúmenes; lo que hace cambiar las características reológicas de los concretos.

La adición de microsílice generalmente incrementa la demanda de agua, para usarlo y mantener la misma relación A/C se debe emplear superplastificante y así obtener la trabajabilidad adecuada.

Paso N° 08

Proporcionamiento de la mezcla de prueba base: Una vez obtenido la cantidad de cemento, microsílice, agregado grueso, contenido de vacíos y de agua; el último insumo que le falta es la arena, por lo cual se usó el método de volúmenes absolutos. Este método consiste en dividir el peso de cada material entre su peso específico y así obtener su proporción en unidad de metro cúbico, para luego restar la suma de todos estos volúmenes menos la unidad y así obtener la diferencia que representara el volumen de arena, que se multiplica por su peso específico y se obtiene el peso de la arena por metro cúbico de concreto.

Paso N° 09

Ajuste final del contenido de agua: El hecho de que el agregado se encuentre a la intemperie y este sujeto a cambios de temperatura, humedad, etc., obliga a obtener el

contenido de humedad previo a cada diseño de mezcla, que con el porcentaje de absorción se utilizan de la siguiente manera:

Ecuac. N° 15:

$$\text{Ajuste de agua}_{\text{agreg.}} : \text{Peso}_{\text{Agreg.}} (\text{Cont Humedad}_{\text{Agreg.-actual}} - \text{Absorción}_{\text{Agreg.}})$$

Esta ecuación se usa para cada uno de los agregados (fino y grueso) independientemente.

Finalmente, se suman las cantidades de ajuste de agua obtenida del agregado fino y del agreg. Grueso, y este valor va a restar a la cantidad de agua que se tenía previo a éste paso, y así obtener el agua de mezclado final.

Paso N° 10:

Ajuste del agregado por contenido de humedad: Finalmente, se realiza el ajuste del peso del agregado por contenido de humedad, para esto se usa la siguiente ecuación:

Ecuac. N° 16:

$$\text{Peso corregido}_{\text{Agregado}} : \text{Peso}_{\text{Agreg.}} (1 + \text{Cont Humedad}_{\text{Agreg.-actual}})$$

Estos pesos corregidos son los pesos finales de los agregados en el diseño.

Paso N° 11:

Obtención de la dosis del aditivo superplastificante: Este paso es el más laborioso de todo este diseño, la determinación de la dosis adecuada del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE; la cual se sometió a diversas variaciones en su dosificación, tratando de evitar que la mezcla presente segregación, exudación; en otras palabras, que sea trabajable y homogéneo. Se consideraron investigaciones hechas por Edher Wincho Salvatierra, quien usa el 3% del peso del cemento, también las especificaciones de modo de uso dadas en la ficha técnica del proveedor del aditivo.

Para lo cual se ensayaron con diversas dosificaciones (aditivo, agua y valor estimado del aire atrapado), que a continuación se presentan en el cuadro N° 04, detallando sus observaciones y algunas características:

Cuadro N° 04: Experimentación realizada para obtener la dosis adecuada de aditivo superplastificante.

A/C	% MICROSÍLICE	VISCOCRETE 20HE	PESO (KG/M3)			MÉTODO USADO	OBSERVACIONES
		% ADITIVO	CEMENTO	MICROSÍLICE	AGUA		
SE AJUSTÓ EL AGUA INICIAL DE DISEÑO DE 180 A 185 Y SE USÓ UN CONTENIDO DE AIRE DE 1.5%, DATOS MODIFICADOS DE ACUERDO A LO DICHO EN EL PASO N° 04.							
0.25	10	1.55	535.69	59.52	157.64	ACI 211.4	Mezcla fluida (8 1/2"), presenta segregación al punto de dejar "lavado" al agregado grueso; y una exudación que es notable despues de llenar una probeta, en donde todo lo pesado desciende y lo fluido y libiano sale a la superficie.
0.25	9	1.5	559.84	55.37	162.5	ACI 211.5	sigue presentado exudación y segregación, mezcla manejable y fluida (8").
0.25	9	1.45	552.56	54.65	160.45	ACI 211.6	La mezcla presenta propiedades positivas, pero aun exuda, creando una superficie líquida.
0.25	9	1.45	552.56	54.65	160.45	ACI 211.6	La mezcla presenta propiedades positivas, pero aun exuda, creando una superficie líquida.
0.25	9	1.4	559.84	55.37	159.56	ACI 211.7	La mezcla no segrega ni exuda, pero da una sensación de que necesitara un aumento en el agua.
0.25	9.5	1.4	556.76	58.44	162.45	ACI 211.8	la mezcla es óptima, no exuda ni segrega; se aumento el agua de diseño y tambien 0.5 puntos porcentuales al microsíllice, es una mezcla TRABAJABLE, de consistencia fluida (slump de 7" a 7 1/2").

Fuente: Elaboración propia.

Estas son algunos de los diseños más importantes realizados, los cuales se analizaron y perfeccionaron a través de la experimentación, para así determinar que la dosis adecuada del superplastificante es de 1.4 % del peso del cemento. Cabe recalcar que esta se añadió más no suplantó o fue considerada por el agua de mezclado (El agua que se menciona en éste cuadro corresponde a la proporción en obra).

La hoja del diseño final se presenta en el capítulo IV, en el cuadro N° 29.

3.2.4.3 Preparación de las mezclas de concreto

Los procedimientos que se recomiendan a continuación, señalan los pasos seguidos en la preparación y colocación de las mezclas de concreto (C°P, C°AS y MS 9.5) bajo condiciones de humedad y temperatura estándar. Para zonas frías o cálidas deberán tenerse en cuenta consideraciones especiales.

La elección de los métodos que se describirán a continuación, fueron hechos de acuerdo con la guía de laboratorio del LEM-UNI, experiencias de otros investigadores, técnicos e ingenieros de la Universidad Nacional de Ingeniería.

3.2.4.3.1 Preparación de mezcla C°P

Primero y previo a cada tanda a realizar, se obtendrá el contenido de humedad de los agregados y se introducirá a la hoja de cálculo del diseño y así obtener las correcciones correctas por contenido de humedad y absorción. Luego de determinar las proporciones y/o cantidades a usar, separar los materiales de acuerdo al volumen de cada tanda, materiales que serán pesados exactamente en recipientes diferentes y adecuados. Para el caso del agua usar un recipiente impermeable, recordemos que para concretos de alta resistencia es muy importante respetar las cantidades exactas de cada material y por lo tanto se debe evitar perder parte de esto en el proceso de pesado, el control debe ser muy estricto.

Procedimiento a realizar:

Humedecer el interior de la tolva (mezcladora), de forma q solo tenga una pequeña y fina capa de agua.

Agregar la piedra chancada y dar unas revoluciones de mezclado para homogeneizarlo, luego añadir la arena, mezclar bien (tapar con algo la boca del tambor para evitar la pérdida de material fino), añadir el cemento y realizar lo mismo que con la arena, una vez mezclado, se espera a que el material fino que se encuentra como “humo” descienda, luego se revisa la homogeneidad de la mezcla y de acuerdo a eso se pasa a introducir el último insumo, el agua. Finalmente, agregamos un tercio del agua de mezclado, se cierra con algún saco u otro manto la boca del tambor para evitar que vuelen las partículas finas de la mezcla, mezclamos por unos segundos hasta que se observe que ya no exista material fino volátil, se deja libre la boca del tambor y se va añadiendo poco a poco el resto del agua, a intervalos de 20 a 30 segundos, paralelamente se va revisando que el material no se adhiera a las paredes del trompo y así todo el material se hidrate simultáneamente, en caso se adhiera usar una espátula y un martillo de goma para liberarla. Se mezcla por unos 2 a 4 minutos, hasta ver que la consistencia sea la adecuada. Finalmente, el vaciado se realiza colocando un bugui o carretilla (previamente humedecida) frente de la mezcladora y, sin detener el giro de la tolva, se inclinará su eje hacia la zona de transvase, a fin de facilitar la caída de la mezcla y evitar su adhesión dentro de las paredes internas de la tolva o tambor, luego el concreto se someterá a distintos ensayos para determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

3.2.4.3.2 Preparación de mezclas C°AS y MS 9.5

Primero y previo a cada tanda a realizar, se obtendrá el contenido de humedad de los agregados y se introducirá a la hoja de cálculo del diseño y así obtener las correcciones correctas por contenido de humedad y absorción. Luego de determinar las proporciones y/o cantidades a usar, separar los materiales de acuerdo al volumen de cada tanda, materiales que serán pesados exactamente en recipientes diferentes y adecuados. Para el caso del agua usar un recipiente impermeable, recordemos que para concretos de alta resistencia es muy importante respetar las cantidades exactas de cada material y por lo tanto se debe evitar perder parte de esto en el proceso de pesado, el control debe ser muy estricto.

Para realizar la preparación de los diseños C°AS y MS 9.5 se siguió la misma metodología de mezclado que se detalla a continuación:

Procedimiento a realizar:

Humedecer el interior de la tolva (mezcladora), de forma q solo tenga una pequeña y fina capa de agua.

Agregar la piedra chancada y dar unas revoluciones de mezclado para homogeneizarlo, luego añadir el material cementicio (cemento y microsílíce en el caso del diseño MS 9.5) y mezclar bien (tapar con algo la boca del tambor para evitar la pérdida de material fino), una vez mezclado, se espera a que el material fino que se encuentra como “humo” descienda, luego se revisa la homogeneidad de la mezcla y de acuerdo a eso se pasa a introducir un tercio del agua y el aditivo (mezclados o simultáneamente), se cierra con algún saco u otro manto la boca del tambor para evitar que vuelen las partículas finas de la mezcla. Mezclamos por unos minutos hasta que ya no exista material fino volátil, se deja libre la boca del tambor y se va añadiendo poco a poco los 3/4 del agua y aditivo que restaba, a intervalos de 15 a 20 segundos, paralelamente se va revisando que el material no se adhiriera a las paredes del trompo y así todo el material se hidrate simultáneamente, en caso se adhiriera usar una espátula y un martillo de goma para liberarla.

A esta se le mezcla enérgicamente por unos 4 a 8 minutos, hasta que el aditivo reaccione y la consistencia de la mezcla sea fluida; luego se adiciona la arena (tapar con algo la boca del tambor para evitar la pérdida de material fino), se mezcla agregando lo restante del agua y el aditivo de 3 a 6 minutos hasta homogeneizarla y obtener una mezcla uniforme. Finalmente, el vaciado se realiza colocando un bugui o carretilla (previamente humedecida) delante de la mezcladora y, sin detener el giro de la tolva, se inclinará su eje hacia la zona de transvase, a fin de facilitar la caída de la mezcla y evitar su adhesión dentro de las paredes internas de la tolva o tambor, luego el concreto se someterá a distintos ensayos para determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

3.2.4.4 Determinación de las propiedades del concreto en estado fresco

Estas fueron realizadas con el método presentado en la Guía de Laboratorio N° 06, del Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, a continuación se describen brevemente:

3.2.4.4.1 Consistencia

Se determinó el asentamiento o slump de las mezclas de concreto según la NTP 339.035, así como también la extensibilidad de las mezclas según la NTP 339.219; re realizó este ensayo con la finalidad de obtener una medida de la trabajabilidad de la mezcla. Los valores de consistencia se muestran en el capítulo IV, en la el cuadro 31 y el gráfico 06.

3.2.4.4.2 Peso unitario

Se determinó el peso unitario de las mezclas de concreto según la NTP 339.046. Los valores del peso unitario varían entre 2335 y 2445 Kg/m^3 , clasificándose como concretos de peso normal (1700 – 2500 Kg/m^3). Resultados del ensayo de peso unitario para los diferentes tipos de mezcla de encuentran en el capítulo IV, en el cuadro 32 y gráfico 07.

3.2.4.4.3 Contenido de aire

Se determinó el contenido de aire de las mezclas de concreto según la NTP 339.080. Este ensayo determina el contenido de aire en mezclas de concreto fresco excluyendo el aire contenido dentro de los poros del agregado. Los valores del contenido de aire para los diferentes tipos de mezclas, se encuentran en el capítulo IV, en el cuadro 33 y gráfica 08.

3.2.4.4.4 Tiempo de fraguado

Las reacción que produce el agua al hidratar al cemento es la causa principal del fraguado del concreto. Fragua que se mide en relación a la velocidad de solidificación de la mezcla fresca en el sistema agua-cemento, determinándose así el tiempo de fraguado inicial y final.

Estos tiempos están definidos arbitrariamente mediante un método de ensayo denominado método de resistencia a la penetración (NTP 339.082). Los resultados del tiempo de fragua del concreto se determinaron según NTP 339.082 y se presentan en el capítulo IV, en el cuadro 34, gráfico 09 y 10.

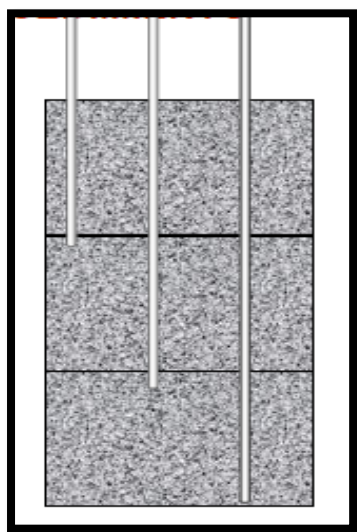
3.2.4.5 Elaboración y curado de probetas cilíndricas.

Para la elaboración, curado y transporte de las probetas cilíndricas representativas del potencial del concreto elaborado, se utilizó la NTP 339.033 y la ASTM C 31.

Para la elaboración de las probetas se usó moldes cilíndricos de 4" x 8" (100 x 200 mm), los cuales se colocaron sobre una superficie nivelada, libre de vibraciones y evitando la exposición directa al sol; se realizaron en las instalaciones del laboratorio. Los moldes se prepararon previamente, limpios y cubiertos con aceite mineral para evitar que el concreto se pegue, haciéndolo desmoldable.

Una vez listo los materiales se procedió a llenar y compactar simultáneamente por tercios, para compactar se necesitó una barra compactadora de punta semiesférica y un martillo de goma. Se llena por encima de cada tercio (para el segundo y tercer tercio se penetra 1" a la capa inferior) y se compacta realizando 25 golpes con la varilla o barra compactadora a la mezcla introducida y realizando de 10 a 15 golpes laterales con el mazo de goma, a continuación se representa gráficamente el proceso:

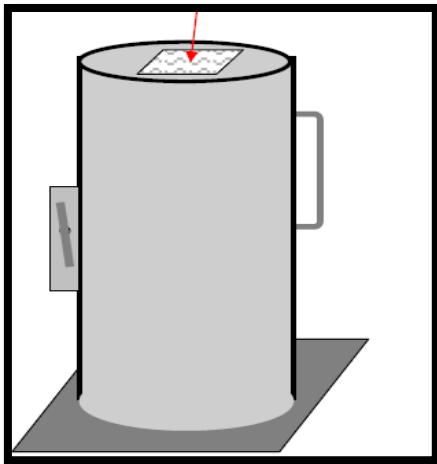
Figura N° 15: Procedimiento de fabricación de probetas.



Fuente: Control de calidad del concreto – DINO

Luego se enrasa la superficie (un buen acabado) y se sobrepone un identificador de especímenes, el cual debe llevar los datos básicos del concreto (Fecha de fabricación, denominación, etc.). algo así como se muestra en la siguiente imagen:

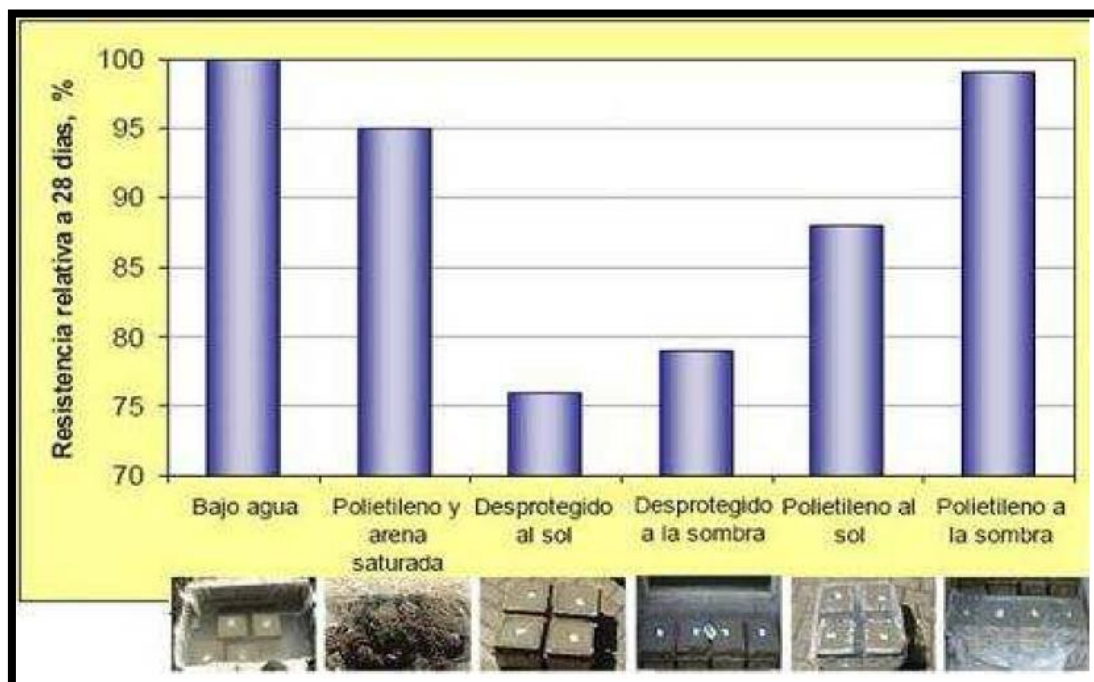
Figura N° 16: detalles finales de fabricación de probetas.



Fuente: Control de calidad del concreto – DINO

Pasadas 24 ± 4 horas las probetas se desmoldan e inmediatamente las llevamos a saturar en una solución de agua de cal (3g/l), acción denominado como curado húmedo y cuya finalidad es maximizar la hidratación del cemento. A continuación se muestran las variaciones de la resistencia obtenida de acuerdo con los diferentes tipos de curados:

Figura N° 17: Detalles finales de fabricación de probetas: Reducción de la resistencia a 28 días, según diferentes curados iniciales (2.5 días).



Fuente: Control de calidad del concreto – DINO

La adición de cal al agua busca subirle el PH hasta un rango de 13 o 14 para que no le quite cal al concreto (evita lixiviación), recordemos que el agua normal posee un pH igual a 7, mientras que el concreto posee un pH mayor a 12.

3.2.4.6 Determinación de las propiedades del concreto en estado endurecido.

3.2.4.6.1 Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión del concreto es la propiedad más característica y la que define su calidad; medida más común de desempeño que usan los ingenieros para diseñar edificios u otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. En la mayoría de los casos los requerimientos de resistencia a la compresión se alcanzan a los 28 días, en el caso de los concretos de alta resistencia a la edad de 56 o 90 días. La resistencia a la compresión del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir su fractura entre el área promedio de su sección transversal. Los ensayos a compresión se realizaron en especímenes cilíndricos de 4 x 8 pulgadas (100 x 200 mm), curados bajo una solución de agua de cal (3g/L) y ensayadas a las edades de 3, 7, 28 y 56 días. Los resultados de los ensayos a compresión se presentan en el capítulo IV, en los cuadros 35, 36 y 37 y su evolución se puede observar en los gráficos 11, 12 y 13.

Los ensayos fueron realizados de acuerdo con la NTP 339.034, donde nos especifican el método de ensayo de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas de concreto.

3.2.4.7 El uso de las técnicas estadísticas.

Se realizó a base de un **diseño experimental**, es decir, que a través de la identificación y cuantificación de la causa-efecto dentro del estudio experimental, se lograra determinar el grado de confiabilidad de estos resultados y su obtención.

Según el modelo seguido de **Lelis Santa Cruz**, en un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas

veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación causa-efecto.

El diseño de experimentación que se utilizó para el desarrollo de esta investigación fue el proporcionado por la American Concrete Institute, proporcionando el método y las normas a seguir con el fin de que los resultados a obtener garanticen su reproducción en cualquier campo; no bastando con esto también nos facilita un método estadístico para poder determinar el grado de confiabilidad y variación de los ensayos realizados. A continuación se presenta una lista con algunos principios y conceptos básicos a conocer antes de su desarrollo estadístico en función de un adecuado diseño experimental:

Repetición: reproducción o réplica del experimento básico. Proporcionando una estimación del error experimental, aumentando el grado de confiabilidad y permitiendo estimaciones más precisas del tratamiento en estudio. Para nuestro caso la norma nos exige que para testigos o probetas de 100 x 200 mm (4"x8") el número de ensayos mínimos que ayudaran a validar perfectamente los resultados obtenidos es de 3, y que los resultados individuales de cada testigo no sean menores a la resistencia de diseño f'_c en menos de un 10 %; lo deseable es que se obtengan resistencias superiores.

Aleatorización: asignación al azar de tratamiento a las unidades experimentales.

Control local: Cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las unidades experimentales que se emplean en el diseño estadístico de un experimento.

3.2.4.8 Instrumentos bibliográficos.

De lo relacionado a normas de concreto:

Se hizo uso de los libros, revistas e investigaciones relacionadas con el tema, así como también de las normas y métodos que intervienen en relación con el tema. A continuación se presenta en forma de catálogo el resumen de las normas y demás instrumentos bibliográficos que sirvieron para el desarrollo de los ensayos y diseños de esta investigación:

Análisis por tamices para la determinación de la granulometría de los agregados fino y grueso (ASTM C 136 o NTP 400.012).

Especificaciones normalizadas para agregados de hormigón (NTP 400.037 o ASTM C33). Toma de muestras del agregado (NTP 400.010).

Peso unitario de los agregados (NTP 400.017).

Peso específico y absorción de los agregados (NTP 400.022).

Contenido de humedad de los agregados (NTP 400.016).

Materiales más finos que pasan la malla N° 200 (NTP 400.018).

Determinación de impurezas orgánicas (ASTM C40-prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, NTP 400.013).

Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles (NTP 400.019).

Determinación de cloruros solubles en el agregado (NTP 339.177).

Determinación de sulfatos solubles (NTP 339.178).

Estándares de calidad del aditivo superplastificante (NTP 334.088).

Comité 116 del ACI-Microsílice.

Estándares de calidad de la adición microsilíce (ASTM C1240).

Estándares de calidad del cemento (NTP 334.009 y ASTM C150).

Estándares de calidad del agua (NTP 339.088).

Aplicación de las normas y experiencias para la realización de los ensayos a los materiales de construcción: Guía de laboratorio 2015, Ms. Ing. Ana Torre Carrillo. LEM-UNI-FIC.

Método de diseño de concreto de alta resistencia dado por el Comité ACI 211.4.

Método de diseño de mezclas de Bolomey.

Consistencia del concreto en estado fresco (Slump: NTP 339.035; extensibilidad: NTP 339.219).

Peso unitario del concreto en estado fresco (NTP 339.046).

Contenido de aire del concreto en estado fresco (NTP 339.080).

Tiempo de fraguado del concreto (NTP 339.082).

Elaboración de probetas o testigos de concreto (NTP 339.033 y ASTM C 31).

Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 339.034).

3.2.5 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

3.2.5.1 Ensayos previos al diseño:

Antes de realizar los diseños de mezclas, se procedió a obtener las propiedades físicas (anexo 01.01) y químicas (anexo 01.02) de los agregados, con la finalidad de conocer perfectamente a nuestros principales insumos (agregado fino y grueso), ver de que modo interactuaran en la mezcla, si cumplen con las especificaciones técnicas de las normas peruanas y de la ASTM; y la proporción y los cambios que demandaran al usarse.

3.2.5.1.1 Características físicas y químicas de los agregados:

Agregado fino:

Después de cada ensayo realizado de acuerdo con lo especificado en el diseño de instrumentos, se procedió a agrupar todos los resultados para ser usados en el diseño de mezcla, resultados que son el promedio aritmético de dos muestras (M1 y M2) realizado para cada tipo de ensayo; estos resultados se presentan de forma resumida a continuación:

Cuadro N° 05: Propiedades físicas y químicas del agregado fino.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Tamaño Nominal Máximo	N° 4 (4.75 mm)
Módulo de finura	3.08
Peso específico seco	2.60
Absorción (%)	0.95
Humedad (%)	0.85
Peso Unit. Suelto (Kg/m ³)	1659
Peso Unit. Compactado (Kg/m ³)	1864
Porcentaje que pasa malla N°200 (%)	7.9
Impurezas orgánicas	NO PRESENTA
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	
Cloruros (ppm)	64.5
Sulfatos (ppm)	277
Sales solubles totales (ppm)	403

Fuente: Elaboración propia.

Los detalles de los ensayos realizados se presentan en los anexo N° 01.01, N° 01.02.

Agregado grueso:

Después de cada ensayo realizado de acuerdo con lo especificado en el diseño de instrumentos, se procedió a agrupar todos los resultados para ser usados en el diseño de mezcla, resultados que son el promedio aritmético de dos muestras (M1 y M2) realizado para cada tipo de ensayo. Se usó dos tipos diferentes de agregado grueso, clasificados por su denominación comercial (piedra chancada de 1/2" y 3/8"); estos resultados se presentan a continuación:

Cuadro N° 06: Propiedades físicas y químicas del agregado grueso.

PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	
Propiedades Físicas	
Tamaño Nominal Máximo	1/2"
Módulo de finura	-
Peso específico seco	2.64
Absorción (%)	0.70
Humedad (%)	0.125
Peso Unit. Suelto (Kg/m ³)	1370
Peso Unit. Compactado (Kg/m ³)	1527
Porcentaje que pasa malla N°200 (%)	0.13
Abrasión (% de desgaste)	13.71
PIEDRA CHANCADA DE 3/8"	
Tamaño Nominal Máximo	1/2"
Módulo de finura	-
Peso específico seco	2.64
Absorción (%)	0.80
Humedad (%)	0.33
Peso Unit. Suelto (Kg/m ³)	1428
Peso Unit. Compactado (Kg/m ³)	1577
Porcentaje que pasa malla N°200 (%)	0.105
Abrasión (% de desgaste)	15.52
Propiedades Químicas	
Cloruros (%)	0.006
Sulfatos (%)	0.02
Sales solubles totales (%)	0.035

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5.2 Metodología usada para el diseño final.

Para cumplir con el objetivo principal de esta investigación, que es realizar un diseño de mezclas de un concreto de alta resistencia $f'c = 900 \text{ Kg/Cm}^2$ con agregados locales; se realizó la siguiente metodología:

Crear un concreto de alta resistencia usando solamente los insumos básicos (cemento, agua y agregados), y determinar la interacción de los elementos básicos al mezclarse

usando una relación A/C mínima de 0.40. A esta mezcla se le denominó concreto patrón (C°P).

Después de conocer cómo reaccionaría la mezcla con una relación A/C de 0.40, el siguiente paso era reducir esta relación a la mínima posible, ya que la elaboración de un concreto de alta resistencia radica esencialmente en trabajar al mínimo posible la relación agua/cemento. Por este motivo, se procedió a reducir la relación A/C a 0.25, guiados en experiencias de otros investigadores; relación que demanda el uso obligatorio de un aditivo reductor de agua de alto rango (RAAR), en este caso se usó el aditivo Sika Viscocrete 20HE, un poderoso superplastificante RAAR de clase F (Estos aditivos pueden reducir grandemente la demanda de agua y el contenido de cemento y pueden producir concretos con baja relación agua-cemento, alta resistencia y trabajabilidad normal o alta). El trabajo en este segundo paso era determinar la dosis adecuada del aditivo para la mezcla, y así crear una mezcla manejable y trabajable (que no segregue ni exude). A esta mezcla se le denominó concreto más aditivo superplastificante (C°AS).

Finalmente, como último paso para determinar el diseño de mezcla final, con la que se pueda cumplir con el objetivo principal de esta investigación; y según toda la teoría e investigaciones realizadas anteriormente, se optó por añadir una adición, la microsílice. La cual demandó el uso de los resultados obtenidos en las mezclas anteriores y así proceder bajo experimentación a obtener la dosificación adecuada de todos los insumos (cemento, agua, superplastificante, agregados y microsílice) hasta obtener una mezcla manejable y trabajable (que no segregue ni exude). A esta mezcla se le denominó concreto con aditivo superplastificante más la adición de microsílice (MS 9.5).

Los detalles del proceso de diseño de cada una de las mezclas se presentaron anteriormente (ítem 3.2.4.3), y los resultados de los diseños se presentan en el capítulo IV (cuadro 27, 28 y 29) y también en los anexos (02.01, 02.02 y 02.03).

1.2.5.3 Determinación de las propiedades del concreto.

Luego de cada creación de los diseños de mezclas, se procedió a obtener las cualidades o propiedades en estado fresco y luego en estado endurecido. De las

cuales la más importante, trascendental y en donde se reflejaría la calidad del concreto, es la medición de la resistencia a la compresión; a continuación se resumen en promedios la resistencia a la compresión obtenida para cada tipo de diseño de mezcla.

Cuadro N° 07: Resumen de las resistencias a la compresión de cada diseño.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm^2)			
	EDAD (días)			
	3	7	28	56
C°P	294	385	505	544
C°AS	563	632	727	805
MS 9.5	661	853	1121	1222
	Porcentual (%) a 28 días			
C°P	58	76	100	108
C°AS	77	87	100	111
MS 9.5	59	76	100	109

Fuente: Elaboración propia.

1.2.5.4 Parámetros estadísticos.

Con la obtención de los diseños finales de las mezclas C°P, C°AS y especialmente MS 9.5, y con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos se hace una comparación de la significancia y los parámetros estadísticos de la investigación y como varia en comparación para cada caso.

Se desarrolló el análisis estadístico para cada tipo de concreto y en esencia para cada edad de rotura, es decir, para c/u de las edades en las que se ensayó a compresión al concreto; por cada fecha el número de muestras es de 3, siendo la mínima según el Comité ACI; se encontró la desviación estándar y finalmente el coeficiente de variación. Resultados que están limitados a obtener en el mejor de los casos un 5% en su coeficiente de variación, y en el grado de aceptabilidad a un máximo de 10% en su coeficiente de variación; de cuyo coeficiente se determinara el grado de control de calidad. Cuyos resultados se presentan en el capítulo IV, en los cuadros 39, 40 y 41.

Se usaron las ecuaciones 10, 13 y 14 para encontrar tales valores. No se realizó el cálculo de las medidas de dispersión debido a que cada concreto es único en cuestión de resistencia y diseño, por lo que una comparación no es viable.

1.2.5.5 Análisis de costos.

Finalmente, para terminar de procesar la información obtenida y con el objetivo de brindar una característica comparativa monetaria respecto a los costos de fabricación de cada concreto, se realizó el análisis de los diseños de mezcla, para 1 m^3 de concreto, teniendo en cuenta los precios del mercado, teniendo en cuenta los siguientes materiales empleados para cada diseño de mezcla:

Agregado fino de la cantera “Buenos Aires”

Agregado grueso de la cantera “Buenos Aires”

Cemento Pacasmayo tipo I

Aditivo superplastificante: Sika Viscocrete 20HE

Microsílice: Sika fume

Cuando hablamos de “precios del mercado”, se hace referencia al valor monetario que tiene cada insumo en el mercado local. El análisis de costos para cada mezcla se presenta en el capítulo IV, en los cuadros 42, 43, 44 y 45; y en los gráficos 18 y 19.

IV. RESULTADOS

4.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS:

4.1.1 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS.

Cuadro N° 08: Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

	Ag. Fino			Unid.
	M-1	M-2	PROM.	
Peso del recipiente	1.559			Kg
Volumen del recipiente (1/10 pie ³)	0.002832			m ³
Peso de la muestra + recipiente (sin compactar)	6.27	6.24	6.26	Kg
Peso de la muestra (suelta)	4.71	4.68	4.70	Kg
Peso de la muestra + recipiente (Compactado)	6.84	6.83	6.84	Kg
Peso de la muestra (Compactada)	5.28	5.27	5.28	Kg
Peso unitario Suelto	1659			Kg/m ³
Peso unitario compactado	1864			Kg/m ³

Cuadro N° 09: Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de 1/2".

	Ag. Grueso 1/2"			Unid.
	M-1	M-2	PROM.	
Peso del recipiente	4.90			Kg
Volumen del recipiente (1/3 pie ³)	0.009439			m ³
Peso de la muestra + recipiente (sin compactar)	17.86	17.80	17.83	Kg
Peso de la muestra (suelta)	12.96	12.90	12.93	Kg
Peso de la muestra + recipiente (Compactado)	19.19	19.44	19.32	Kg
Peso de la muestra (Compactada)	14.29	14.54	14.42	Kg
Peso unitario Suelto	1370			Kg/m ³
Peso unitario compactado	1527			Kg/m ³

Cuadro N° 10: Determinación del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso de 3/8".

	Ag. Grueso 3/8"			Unid.
	M-1	M-2	PROM.	
Peso del recipiente	1.56			Kg
Volumen del recipiente (1/10 pie ³)	0.002832			m ³
Peso de la muestra + recipiente (sin compactar)	5.58	5.62	5.60	Kg
Peso de la muestra (suelta)	4.02	4.06	4.04	Kg
Peso de la muestra + recipiente (Compactado)	6.02	6.03	6.03	Kg
Peso de la muestra (Compactada)	4.46	4.47	4.47	Kg
Peso unitario Suelto	1428			Kg/m ³
Peso unitario Compactado	1577			Kg/m ³

4.1.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

Cuadro N° 11: Peso específico de la arena triturada.

	M-1	M-2	PROMEDIO	Unidad
Peso de la arena superficialmente seca	500.00	500.00	500.00	g
Peso de la arena superficialmente seca+peso del balón+peso del agua	988.30	988.10	988.20	g
Peso del balón	178.50	178.50	178.50	g
Peso del agua W	309.80	309.60	309.70	g
Peso de la arena seca al Horno A	495.50	495.10	495.30	g
Volumen del balón V (ml)	500.00	500.00	500.00	cm3

Peso específico de masa $A/(V-W)$	2.61	2.60	2.60	
Peso específico de masa superficialmente seco $500/(V-W)$	2.63	2.63	2.63	
Peso específico aparente $A/(V-W)-(500-A)$	2.67	2.67	2.67	
Porcentaje de absorción $(500-A)X100/A$	0.91	0.99	0.95	%

Cuadro N° 12: Peso específico de la piedra chancada de ½”.

	M-1	M-2	PROMEDIO	Unid.
Peso de la muestra secada al horno A	2979	2979	2979	g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	3000	3000	3000	g
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla	2746.1	2747.4	2746.75	g
Peso de la canastilla	874	874	874	g
Peso de la muestra saturada en agua C	1872.1	1873.4	1872.75	g
Peso específico de masa $A/(B-C)$	2.64	2.64	2.64	
Peso específico de masa superficialmente seco $B/(B-C)$	2.66	2.66	2.66	
Peso específico aparente $A/(A-C)$	2.69	2.69	2.69	
Porcentaje de absorción $(B-A)X100/A$	0.70	0.70	0.70	%

Cuadro N° 13: Peso específico de la piedra chancada de 3/8”.

	M-1	M-2	PROMEDIO	Unid.
Peso de la muestra secada al horno A	2976.00	2976.40	2976.20	g
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	3000.00	3000.00	3000.00	g
Peso de la muestra saturada en agua + peso de la canastilla	2744.80	2744.90	2744.85	g
Peso de la canastilla	874.00	874.00	874.00	g
Peso de la muestra saturada en agua C	1870.80	1870.90	1870.85	g

Peso específico de masa A/(B-C)	2.64	2.64	2.64	
Peso específico de masa superficialmente seco B/(B-C)	2.66	2.66	2.66	
Peso específico aparente A/(A-C)	2.69	2.69	2.69	
Porcentaje de absorción (B-A)X100/A	0.81	0.79	0.80	%

4.1.3 CONTENIDO DE HUMEDAD.

Cuadro N° 14: Contenido de humedad del agregado fino.

	M-1	M-2	PROM.	Unid.
<i>Peso de la muestra en estado ambiental</i>	500.00	500.00	500.00	g
<i>Peso de la muestra seca al horno</i>	495.20	496.30	495.75	g
<i>Peso del agua perdida</i>	4.80	3.70	4.25	g
<i>Contenido de humedad</i>	0.96	0.74	0.85	%

Cuadro N° 15: Contenido de humedad del agregado grueso.

	Ag. Grueso (1/2")			Ag. Grueso (3/8")		
	M-1	M-2	PROM.	M-1	M-2	PROM.
Peso de la muestra en estado ambiental (g)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Peso de la muestra seca al horno (g)	998.5	999	998.75	997	996.5	996.75
Peso del agua perdida (g)	1.5	1	1.25	3	3.5	3.25
<i>Contenido de humedad (%)</i>	0.15	0.1	0.125	0.3	0.35	0.325

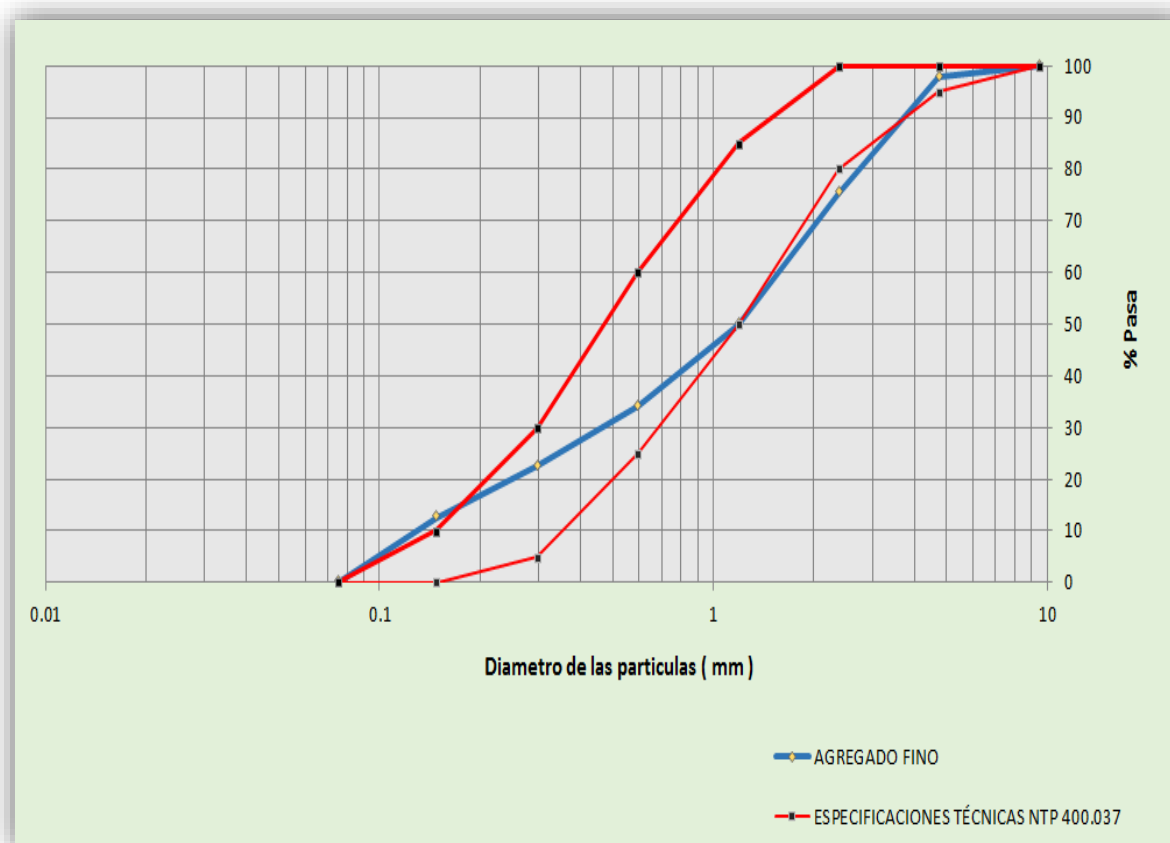
4.1.4 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.

Cuadro N° 16: Análisis granulométrico de la arena triturada.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)		Prom.	Ret. Prom. (%)	Ret. Acumul.(%)	Acum. Pasa (%)
		M-1	M-2				
3/8"	9.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	11.80	10.20	11.00	2.20	2.20	97.80
N° 8	2.38	112.70	112.40	112.55	22.51	24.71	75.29
N° 16	1.19	126.80	126.40	126.60	25.32	50.03	49.97
N° 30	0.595	79.00	79.40	79.20	15.84	65.87	34.13
N° 50	0.297	58.50	58.80	58.65	11.73	77.60	22.40
N° 100	0.148	48.80	48.90	48.85	9.77	87.37	12.63
fondo	0.075	62.40	63.90	63.15	12.63	100	0.00
Total		500	500	500	100		

Módulo de finura: 3.08

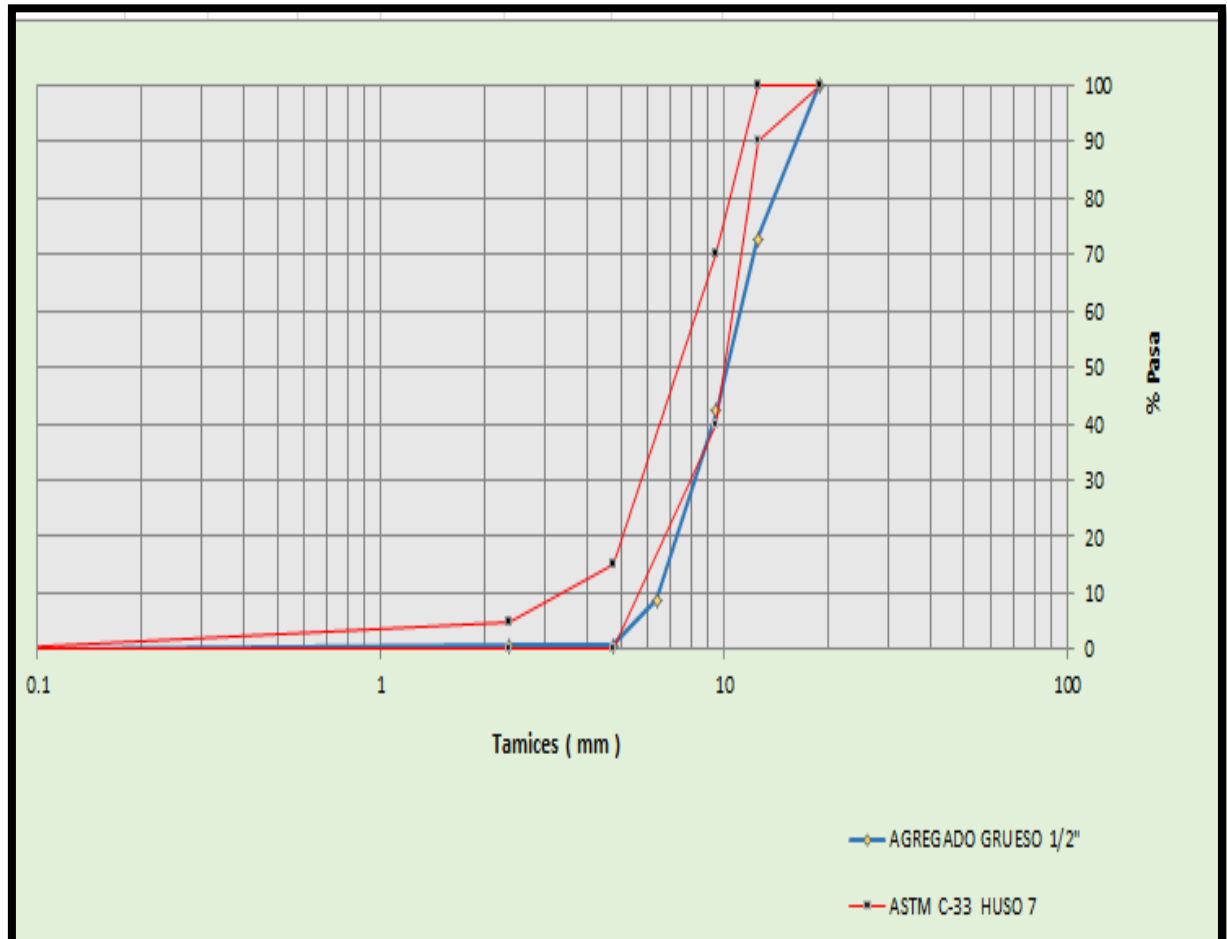
Gráfico N° 01: Curva granulométrica de la arena triturada.



Cuadro N° 17: Análisis granulométrico de la piedra chancada de ½”.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)		Prom.	Ret. Prom. (%)	Ret. Acumul.(%)	Acum. Pasa (%)
		M-1	M-2				
1"	25						
3/4"	19	0	0	0	0	0	100
1/2"	12.5	1516	1217	1366.5	27.33	27.33	72.67
3/8"	9.5	1565.0	1464.5	1514.75	30.295	57.625	42.375
1/4"	6.35	1568.5	1791.5	1680	33.6	91.225	8.775
N°4	4.75	316.5	480.5	398.5	7.97	99.195	0.805
N°8	2.36	0	0	0	0	99.195	0.805
fondo	0.075	34	46.5	40.25	0.805	100	0
Total		5000	5000	5000	100		

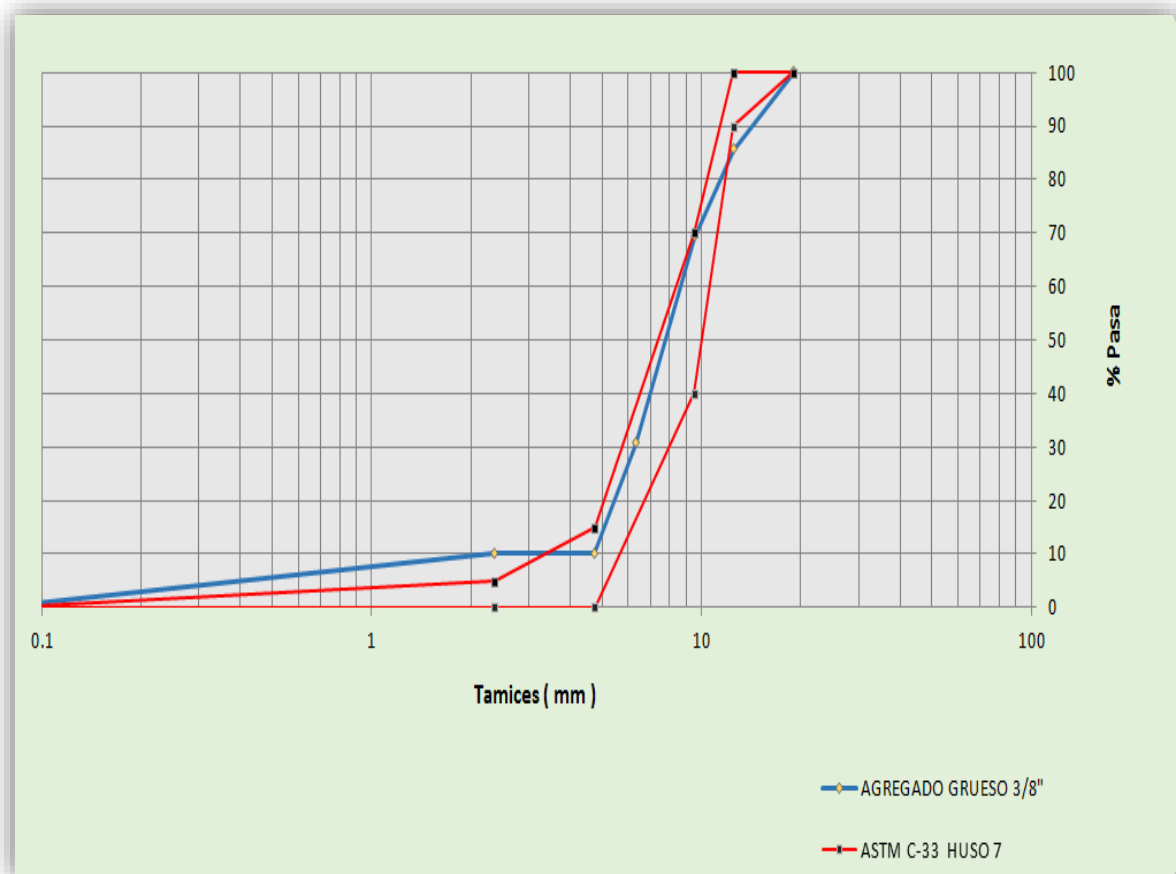
Gráfico 02: Curva granulométrica de la piedra chancada de ½”.



Cuadro 18: Análisis granulométrico de la piedra chancada de 3/8”.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (g)		Prom.	Ret. Prom. (%)	Ret. Acumul.(%)	Acum. Pasa (%)
		M-1	M-2				
1"	25						
3/4"	19	0	0	0	0	0	100
1/2"	12.5	589.50	863.00	726.25	14.53	14.53	85.48
3/8"	9.5	747.00	870.50	808.75	16.18	30.70	69.30
1/4"	6.35	1816.50	2058.00	1937.25	38.75	69.45	30.56
N°4	4.75	1165.50	889.50	1027.50	20.55	90.00	10.01
N°8	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	90.00	10.01
fondo	0.075	681.50	319.00	500.25	10.01	100.00	0.00
Total		5000	5000	5000	100		

Gráfico 03: Curva granulométrica de la piedra chancada de 3/8”.




4.1.5 MATERIALES MÁS FINOS QUE PASAN LA MALLA N° 200 (75 µm).

Cuadro 19: Materiales más finos que pasan la malla N° 200.

	arena			Agregado grueso	
	M-1	M-2	Promedio	1/2"	3/8"
peso inicial de la muestra (g)	500	500	500	2000	2000
peso final de la muestra (g)	459.4	461.6	460.5	1997.4	1997.9
Peso de material que pasa la malla N°200	40.6	38.4	39.5	2.6	2.1
Porcentaje que pasa malla N°200	8.12	7.68	7.9	0.13	0.105

4.1.6 DETERMINACIÓN DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO.

Cuadro 20: Impurezas orgánicas en el agregado fino.

MUESTRA	CANTERA	RESULTADOS		
		N° COLORIMETRO	OBSERVACIONES	
01	BUENOS AIRES- PROVINCIA DE PICOTA-REGIÓN DE SAN MARTÍN	1	SE USÓ EL 3% DE HIDROXIDO DE SODIO POR 1 LITRO DE AGUA (30GR/LT); SE DEJÓ REPOSANDO 24	

4.1.7 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (MAQUINA DE LOS ÁNGELES)

Cuadro 21: Resistencia a la abrasión de la piedra chancada de 1/2".

Tipo de graduación:	B
	1/2"
W de muestra retenida en malla de 1/2"	2500
W de muestra retenida en malla de 3/8"	2500
Wtotal de la muestra seca	5000
Wmuestra a las 100 revoluciones	4854
W final de la muestra - a las 500 revoluciones	4314.5
Wmuestra total que por el tamiz N°12	685.5
% de desgaste	13.71

Cuadro 22: Resistencia a la abrasión de la piedra chancada de 3/8".

Tipo de graduación:	C
	3/8"
W de muestra retenida en malla de 1/4"	2500
W de muestra retenida en malla N°4	2500
Wtotal de la muestra seca	5000
Wmuestra a las 100 revoluciones	4836
W final de la muestra - a las 500 revoluciones	4224
Wmuestra total que por el tamiz N°12	776
% de desgaste	15.52

4.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS AGREGADOS.

Cuadro 23: propiedades químicas de los agregado fino.

ANÁLISIS DE:	MUESTRAS	CLORUROS Cl ASTM D 3370 AASHTO T-291 ppm	SULFATOS (SO ₄) ASTM E 275 AASHTO T-290 ppm	SALES SOLUBLES TOTALES MTC E 219 ASTM D 1888 ppm
TIPO DE MATERIAL:				
ARENA	M-1	53	186	294
TRITURADA	M-2	76	368	512

Cuadro 24: propiedades químicas de los agregado grueso.

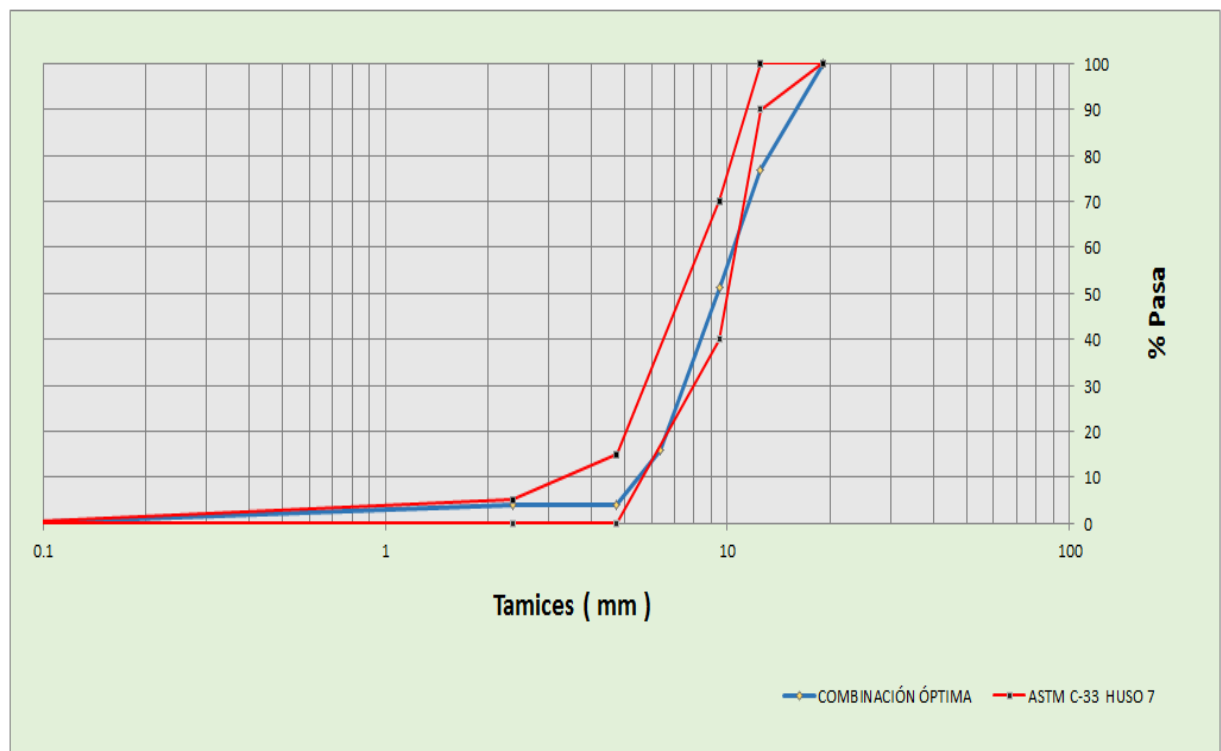
ANÁLISIS DE:	MUESTRAS	CLORUROS Cl ASTM D 3370 AASHTO T-291 %	SULFATOS (SO ₄) ASTM E 275 AASHTO T-290 %	SALES SOLUBLES TOTALES MTC E 219 ASTM D 1888 %
TIPO DE MATERIAL:				
PIEDRA	M-1	0.007	0.03	0.05
CHANCADA	M-2	0.005	0.01	0.02

4.3 COMBINACIÓN ÓPTIMA DEL AGREGADO GRUESO.

Cuadro 25: Análisis granulométrico de la piedra chancada combinada.

		AGREGADO GRUESO*		COMBINACIÓN**			
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido promedio (g)		PESO RETENIDO (gr)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje ret. Acum. (%)	Porcentaje acum. Pasante (%)
		1/2"	3/8"	TMN 1/2" (67%) + TMN 3/8" (33%)			
1"	25						
3/4"	19	0	0	0.00	0	0.00	100.00
1/2"	12.5	1366.5	726.25	1155.22	23.10	23.10	76.90
3/8"	9.5	1514.75	808.75	1281.77	25.64	48.74	51.26
1/4"	6.35	1680	1937.25	1764.89	35.30	84.04	15.96
Nº4	4.75	398.5	1027.5	606.07	12.12	96.16	3.84
Nº 8	2.36	0	0	0.00	0.00	96.16	3.84
fondo	0.075	40.25	500.25	192.05	3.84	100.00	0.00
Total		5000	5000	5000.00	100.00		

Gráfico 04: Curva granulométrica de la piedra chancada combinada.



Cuadro 26: Resumen de las propiedades físicas del agregado grueso combinado con 67% de agregado de denominación comercial de 1/2" y 33% de agregado de denominación comercial de 3/8".

DESCRIPCIÓN	Agregado grueso (denominación)		Combinación
	1/2"	3/8"	1/2" (67%) + 3/8" (33%)
Cantera	Buenos Aires		Buenos Aires
Abrasión	13.71	15.52	14.31
Absorción	0.7	0.8	0.74
Peso específico	2.64	2.64	2.64
Peso unitario suelto	1370	1428	1389
Peso unitario compactado	1527	1577	1545
Contenido de Humedad	0.13	0.33	0.20
Módulo de finura	---	---	---
Finos que pasan la malla N° 200	0.13	0.11	0.12
Impurezas orgánicas	---	---	
Tamaño máximo	3/4"	3/4"	3/4"
Tamaño máximo nominal	1/2"	1/2"	1/2"

4.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA.

4.4.1 DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO PATRÓN (C°P).

Cuadro 27: Hoja de diseño del C°P.

DISEÑO DE MEZCLAS												C°P - DISEÑO FINAL																													
TESIS			: "DISEÑO DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA F'C=900 KG/CM2, USANDO AGREGADO DEL RÍO HUALLAGA PARA LA CIUDAD DE TARAPOTO, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN DE SAN MARTÍN"																																						
REALIZADO POR			: BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA																																						
AGREGADOS	ITEM	ARENA	PIEDRA 1/2"	PIEDRA 3/8"	CEMENTO	PACASMAYO tipo I		<div>OTROS</div> <table><tr><td>SLUMP</td><td>3" - 4"</td></tr><tr><td>A/C</td><td>AGUA</td></tr><tr><td>0.40</td><td>236</td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>						SLUMP	3" - 4"	A/C	AGUA	0.40	236																						
	SLUMP	3" - 4"																																							
	A/C	AGUA																																							
	0.40	236																																							
	P.e.	2.60	2.64			P.E.	3.12																																		
	P.U.S.	1,656	1,389																																						
	P.U.C.	1,864	1,545		AIRE	% AIRE atrap.	2.5																																		
	Ab (%)	0.95	0.74																																						
Hum (%)	0.42	0.22																																							
TNM	---	1/2"		ADITIVO 1	MARCA		<div>ADITIVO 2</div> <table><tr><td>MARCA</td><td></td></tr><tr><td>P.E.</td><td>0.00</td></tr><tr><td>% W Cemento</td><td>0.00</td></tr></table>						MARCA		P.E.	0.00	% W Cemento	0.00																							
MARCA																																									
P.E.	0.00																																								
% W Cemento	0.00																																								
MF	3.08	6.73		P.E.	0.00																																				
COMBINACIÓN D1 (%)			38.7	61.3	% W Cemento		0.00																																		
COMBINACIÓN D2 (%)			45.3	54.7																																					
COMBINACIÓN D3 (%)			45.3	54.7																																					
a/c = 0.4												0.4																													
MATERIAL	Peso Seco	P.e.	Vol. Abs.	D.U.S.	D.O.	D.U.O.	mez (Kg)		P/bol C.	P. VOL	Bol Cem.	<div>Corrección de agua:</div> <table><tr><td>Agua arena:</td><td>-2.93</td></tr><tr><td>Agua piedra:</td><td></td></tr><tr><td></td><td>-3.01</td></tr><tr><td></td><td>0.00</td></tr><tr><td></td><td>-5.94</td></tr><tr><td>BALDE</td><td>1/3 pie³</td></tr><tr><td colspan="2">PUCF</td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr><tr><td colspan="2"></td></tr></table>		Agua arena:	-2.93	Agua piedra:			-3.01		0.00		-5.94	BALDE	1/3 pie³	PUCF															
Agua arena:	-2.93																																								
Agua piedra:																																									
	-3.01																																								
	0.00																																								
	-5.94																																								
BALDE	1/3 pie³																																								
PUCF																																									
Cemento	590	3.12	0.1891	1	590	1	23.60	Kg	42.5	1	13.9																														
Agua	236	1	0.2360	0.4	242	0.41	9.68	Lt	17.4	17.4																															
Arena	553	2.60	0.2128	0.94	556	0.94	22.23	Kg	40.0	0.85																															
Piedra	890	2.64	0.3371		892	1.51	35.67		64.2	1.62																															
Piedra 1/2"	578	2.643	0.2191	0.98	580	0.98	23.18	Kg	41.8																																
Piedra 3/8"	311	2.636	0.1180	0.53	312	0.53	12.48	Kg	22.5																																
Aire	2.5	100	0.0250																																						
Aditivo 1	0.00	0	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.00	g	0.0000																																
Aditivo 2	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	g	0.0000																																
Aditivo 3	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.0000	0.000	g	0.0000																																
Adición																																									
P.U.C.S.	2272			P.U.C.F.	2279						3" - 4"																														

4.4.2 DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO MÁS ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE (C°AS).

Cuadro 28: Hoja de diseño del C°AS.

TIPO DE MEZCLA : C°AS - DISEÑO FINAL DISEÑADO POR : BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA FECHA DE MEZCLA : 24/11/2015 REALIZADO POR : BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>f'c:</td><td>900 Kg/cm²</td></tr> <tr><td>f'cr:</td><td>1108.9 Kg/cm²</td></tr> <tr><td>SLUMP:</td><td>9"</td></tr> <tr><td>TMN:</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>ADITIVO:</td><td>SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE</td></tr> <tr><td>ADITIVO (%):</td><td>1.50</td></tr> <tr><td>ADICIÓN:</td><td>MICROSÍLICE SIKA FUME</td></tr> <tr><td>ADICIÓN (%):</td><td>0</td></tr> <tr><td>CEMENTO:</td><td>PACASMAYO, TIPOP I</td></tr> <tr><td>P. ESPEC. CEMENTO:</td><td>3120 Kg/m³</td></tr> </table>		f'c:	900 Kg/cm ²	f'cr:	1108.9 Kg/cm ²	SLUMP:	9"	TMN:	1/2"	ADITIVO:	SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE	ADITIVO (%):	1.50	ADICIÓN:	MICROSÍLICE SIKA FUME	ADICIÓN (%):	0	CEMENTO:	PACASMAYO, TIPOP I	P. ESPEC. CEMENTO:	3120 Kg/m ³
f'c:	900 Kg/cm ²																								
f'cr:	1108.9 Kg/cm ²																								
SLUMP:	9"																								
TMN:	1/2"																								
ADITIVO:	SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE																								
ADITIVO (%):	1.50																								
ADICIÓN:	MICROSÍLICE SIKA FUME																								
ADICIÓN (%):	0																								
CEMENTO:	PACASMAYO, TIPOP I																								
P. ESPEC. CEMENTO:	3120 Kg/m ³																								

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA SUGERIDO POR EL COMITÉ DE LA ACI 211.4

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS							
Agregado	TNM	MF	P.E.	PUS	PUC	%Absorción	% humedad
Fino	arena triturada	3.08	2.60	1659	1864	0.95	0.42
Grueso	1/2"	6.73	2.64	1389	1545	0.74	0.26

DISEÑO DE MEZCLA F'c=900 KG/CM ²			
---	--	--	--

1. Vol. de agregado (tabla N°2):	68 %
3. Contenido de agua (tabla N°4)	
Agua :	180 Kg
cont. Aire con S.P. :	1.5 %
5. Ajuste del agua de mezclado:	
A = 4.72 (V-35)	
A =	-31.20 (kg/m ³)

2. Peso seco: (%Vol)x(PUC)	
Peso seco:	1050.6 Kg
4. % Vacíos A. fino (Ecuac. 04)	
V% = $1 - \left(\frac{P.U.C.}{PESO ESPEC.} \right) 100$	
V =	28.39 %
6. Agua de mezclado	
Agua corregida	148.8 Kg

8. Proporciones básicas para mezcla solo con cemento			
Material	Peso (kg)	Vol	Unid.
Cemento:	595.2	0.19	m ³
Agua:	148.8	0.15	m ³
Ag grueso:	1050.6	0.40	m ³
Aire:	0.015	0.015	m ³
mezcla sin arena		0.753	m ³

7. Relación a/c	
Ajuste de la resist promedio:	
f'cr:	998 Kg/cm ²
a/c :	0.25
Cemento :	595.2 Kg

Vol arena :	0.247 m ³
Peso arena:	644.2 kg

COMBINACIÓN A.F. + A. G.
0.38 AF
0.62 AG

9. Proporciones en peso de la mezcla			10. Ajuste por el contenido de humedad		11. Agregado corregido	
Material	Peso		A.G.		Ag fino	
Cemento	595.2	Kg/m3	A.F.	-5.08		646.87 kg
Agua	148.8	Kg/m3	total:	-3.41	Ag grueso	1053.29 kg
Ag grueso	1050.6	Kg/m3	Agua obra:	-8.49		
Ag. Fino	644.2	Kg/m3		157.3 Kg/m3		
TOTAL	2438.8	Kg/m3				

C°AS - DISEÑO FINAL								
Peso materiales en obra			Proporción en volumen	P/bol. C.		P. VOL.	Volumen tanda 30 L	
Cemento:	595.21	kg/m3	1.00	42.5	Kg	1.00	17.86	Kg
Agua:	157.30	kg/m3	0.26	11.2	Lt	11.2	4.72	Lt
Ag grueso:	1053.29	kg/m3	1.77	75.2	Kg	1.90	31.60	Kg
Ag. Fino:	646.87	kg/m3	1.09	46.2	Kg	0.97	19.41	Kg
Ad:	8.90	kg/m3	0.0150	0.64	kg	0.64	267.01	gr

bolsas de cemento: 14.00

NOTAS:

Está prohibido reproducir o modificar el informe de ensayo, total o parcialmente, sin la autorización del autor.

4.4.3 DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE MÁS ADICIÓN DE MICROSÍLICE (MS 9.5).

Cuadro 29: Hoja de diseño del MS 9.5.

TIPO DE MEZCLA : MS 9.5 - DISEÑO FINAL DISEÑADO POR : BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA FECHA DE MEZCLA : 10/11/2015 REALIZADO POR : BACH. EDINSON ALEXANDER HEREDIA MENDOZA	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>f'c:</td><td>900 Kg/cm²</td></tr> <tr><td>f'cr:</td><td>1108.9 Kg/cm²</td></tr> <tr><td>SLUMP:</td><td>7"</td></tr> <tr><td>TMN:</td><td>1/2"</td></tr> <tr><td>ADITIVO:</td><td>SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE</td></tr> <tr><td>ADITIVO (%):</td><td>1.4</td></tr> <tr><td>ADICIÓN:</td><td>MICROSÍLICE SIKAFUME</td></tr> <tr><td>ADICIÓN (%):</td><td>9.5</td></tr> <tr><td>CEMENTO:</td><td>PACASMAYO, TIPO I</td></tr> </table>	f'c:	900 Kg/cm ²	f'cr:	1108.9 Kg/cm ²	SLUMP:	7"	TMN:	1/2"	ADITIVO:	SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE	ADITIVO (%):	1.4	ADICIÓN:	MICROSÍLICE SIKAFUME	ADICIÓN (%):	9.5	CEMENTO:	PACASMAYO, TIPO I
f'c:	900 Kg/cm ²																		
f'cr:	1108.9 Kg/cm ²																		
SLUMP:	7"																		
TMN:	1/2"																		
ADITIVO:	SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE																		
ADITIVO (%):	1.4																		
ADICIÓN:	MICROSÍLICE SIKAFUME																		
ADICIÓN (%):	9.5																		
CEMENTO:	PACASMAYO, TIPO I																		

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA SUGERIDO POR EL COMITÉ DE LA ACI 211.4

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS							
Agregado	TMN	MF	P.E.	PUS	PUC	%Absorción	% humedad
Fino	arena triturada	3.0778	2.60	1659	1864	0.95	0.42
Grueso	1/2"	6.73	2.64	1389	1545	0.74	0.22

DISEÑO DE MEZCLA F'c=900 KG/CM ²	
---	--

1. Vol. de agregado (tabla N°2):	68 %
3. Contenido de agua (tabla N°4)	
Agua :	185 Kg
cont. Aire con S.P. :	1.5 %
5. Ajuste del agua de mezclado:	
A = 4.72 (V-35)	
A =	-31.20 (kg/m ³)

2. Peso seco: (%Vol)x(PUC)	Peso seco: 1050.6 Kg
4. % Vacíos A. fino (Ecuac. 04)	
$V\% = 1 - \left(\frac{P.U.C.}{PESO ESPEC.} \right) 100$	
V =	28.39 %
6. Agua de mezclado	
Agua corregida	153.8 Kg

8. Proporciones básicas para mezcla solo con cemento			
Material	Peso (kg)	Vol	Unid.
Cemento:	615.2	0.20	m ³
Agua:	153.8	0.15	m ³
Ag grueso:	1050.6	0.40	m ³
Aire:	0.015	0.015	m ³
mezcla sin arena		0.764	m ³

Vol arena :	0.236 m ³
Peso arena:	614.5 kg

COMBINACIÓN A.F. + A. G.	
	0.37 AF
	0.63 AG

7. Relación a/c	
Ajuste de la resist promedio:	
f'cr:	998 Kg/cm ²
a/c :	0.25
Cemento :	615.2 Kg

9. Proporciones en peso de la mezcla		
Material	Peso	
Cemento	615.2	Kg/m3
Agua	153.8	Kg/m3
Ag grueso	1050.6	Kg/m3
Ag. Fino	614.5	Kg/m3
TOTAL	2434.1	Kg/m3

DATOS:

ADITIVO: SUPERPLASTIFICANTE VISCOCRETE 20HE

ADITIVO (%):	1.4	P.ESP.=	1.07	kg/L
--------------	-----	---------	------	------

CEMENTO: PORTLAND tipo I

P. ESPEC. CEMENTO:	3120	Kg/m3
--------------------	------	-------

ADICIÓN: MICROSILICE SIKAFUME

ADICIÓN (%):	9.5	P.ESP.=	2200	kg/m3
--------------	-----	---------	------	-------

PROPORCIÓN DE MEZCLA USANDO MICROSÍLICE			
dosis:	9.5	% del Wcemento	
total de microsíllice	58.44	kg/m3	
cemento:	556.764	kg/m3	

		A.F.								
VOLUMEN TANDA	mezcla de prueba	cemento	microsilice	A.G.	Peso	Volumen	Agua	Aire	Superplast	Total
PROPORCIONES BASICAS PARA LA MEZCLA SOLO CON CEMENTO (MS 9.5%)										
1m3	PESOS	556.76	58.44	1050.60			153.8	0.015		2413.70
	VOL	0.1785	0.0266	0.40			0.154	0.015		0.772
					594.08	0.228				
	MS 9.5% -Diseño final*	556.76	58.44	1052.87	596.57		162.451	0.015	8.6	
	Proporción en volumen	1.00	0.10	1.89	1.07		0.29		0.02	
	P/bol. C.	42.50	4.46	80.37	45.54		12.40		0.66	
	dosificación volumétrica	1.00	0.18	2.03	0.96		12.40		0.66	
30L	I (30L)	16.70	1.75	31.59	17.90		4.87		258.39	

* Para obtener el diseño final se realizo la siguiente corrección:

Ajuste por el contenido de humedad:

A.G. -5.50
A.F. -3.15
total: -8.65
Agua obra: 162.5 Kg/m3

Agregado corregido:

Ag fino corr: 596.57
Ag grueso corr: 1052.87

NOTAS:

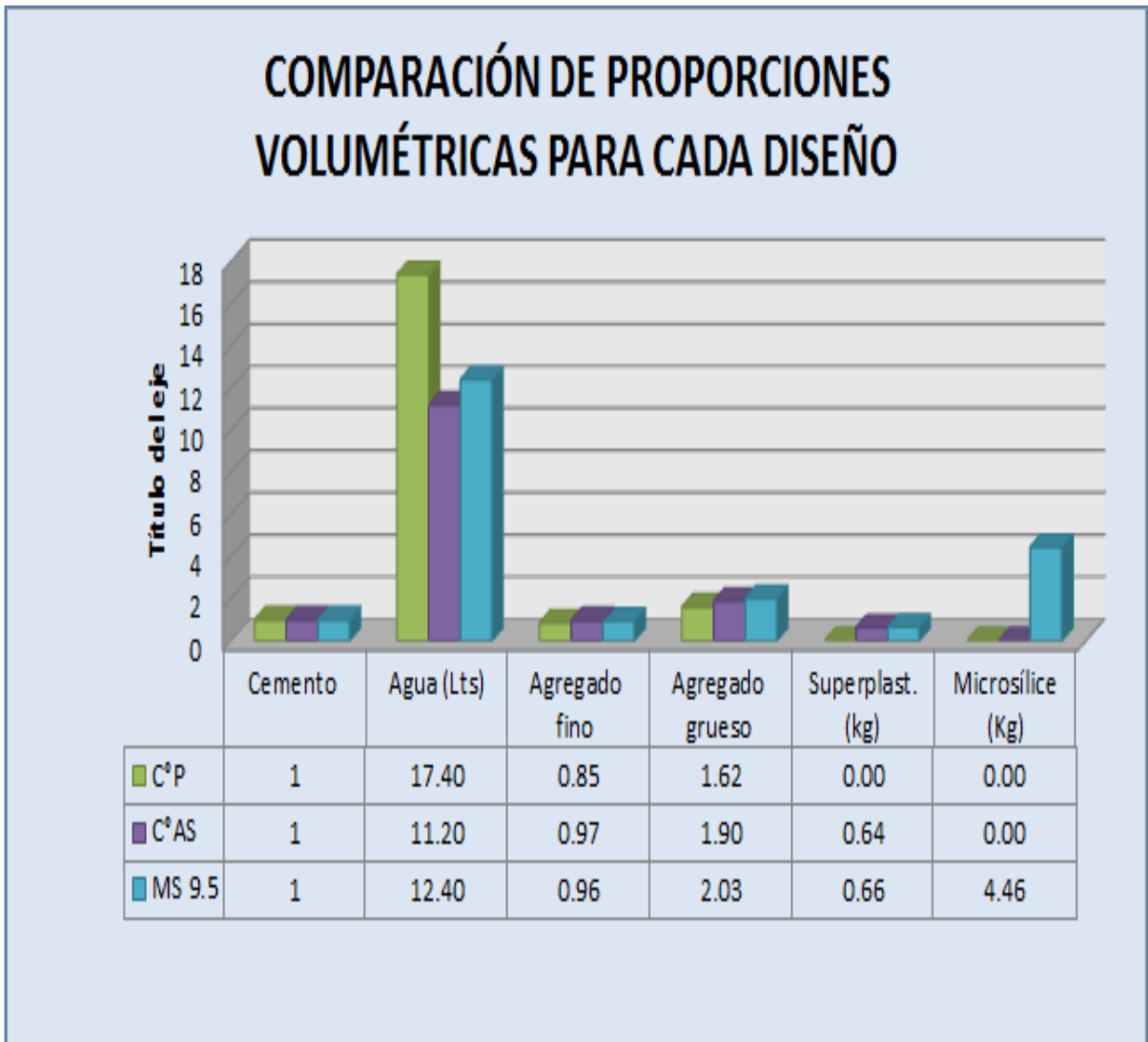
Cada bolsa de microsíllice Sika Fume contiene 25 kg de este material, dato tomado en cuenta para la dosificación volumétrica.

4.4.4 RESUMEN DE DISEÑOS DE MEZCLAS.

Cuadro 30: Resumen de dosificación volumétrica de los diseños de mezclas (proporciones en obra).

RESUMEN DE PROPORCIONES POR VOLUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS FINALES						
MEZCLA	Cemento	Agua (Lts)	Agregado fino	Agregado grueso	Superplast. (kg)	Microsílice (Kg)
C°P	1	17.40	0.85	1.62	0.00	0.00
C°AS	1	11.20	0.97	1.90	0.64	0.00
MS 9.5	1	12.40	0.96	2.03	0.66	4.46

Gráfico 05: Comparación de las proporciones volumétricas entre diseños.



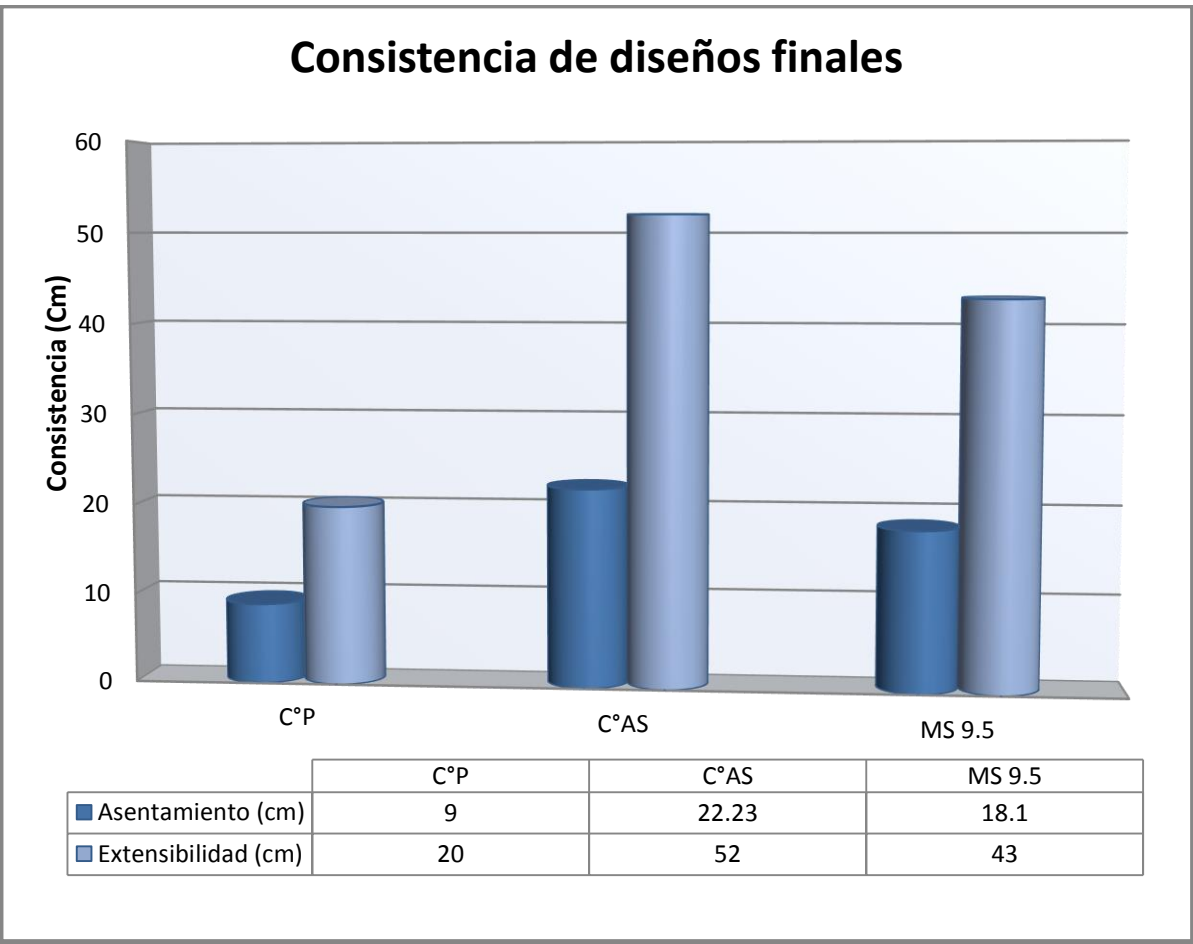
4.5 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

4.5.1 CONSISTENCIA.

Cuadro 31: Valores de consistencia

MEZCLA	Asentamiento (cm)	Asentamiento (pulg.)	Extensibilidad (cm)
C°P	9	3.55	20
C°AS	22.23	8.75	52
MS 9.5	18.1	7.1	43

Gráfico 06: Asentamiento y extensibilidad de las mezclas de concreto

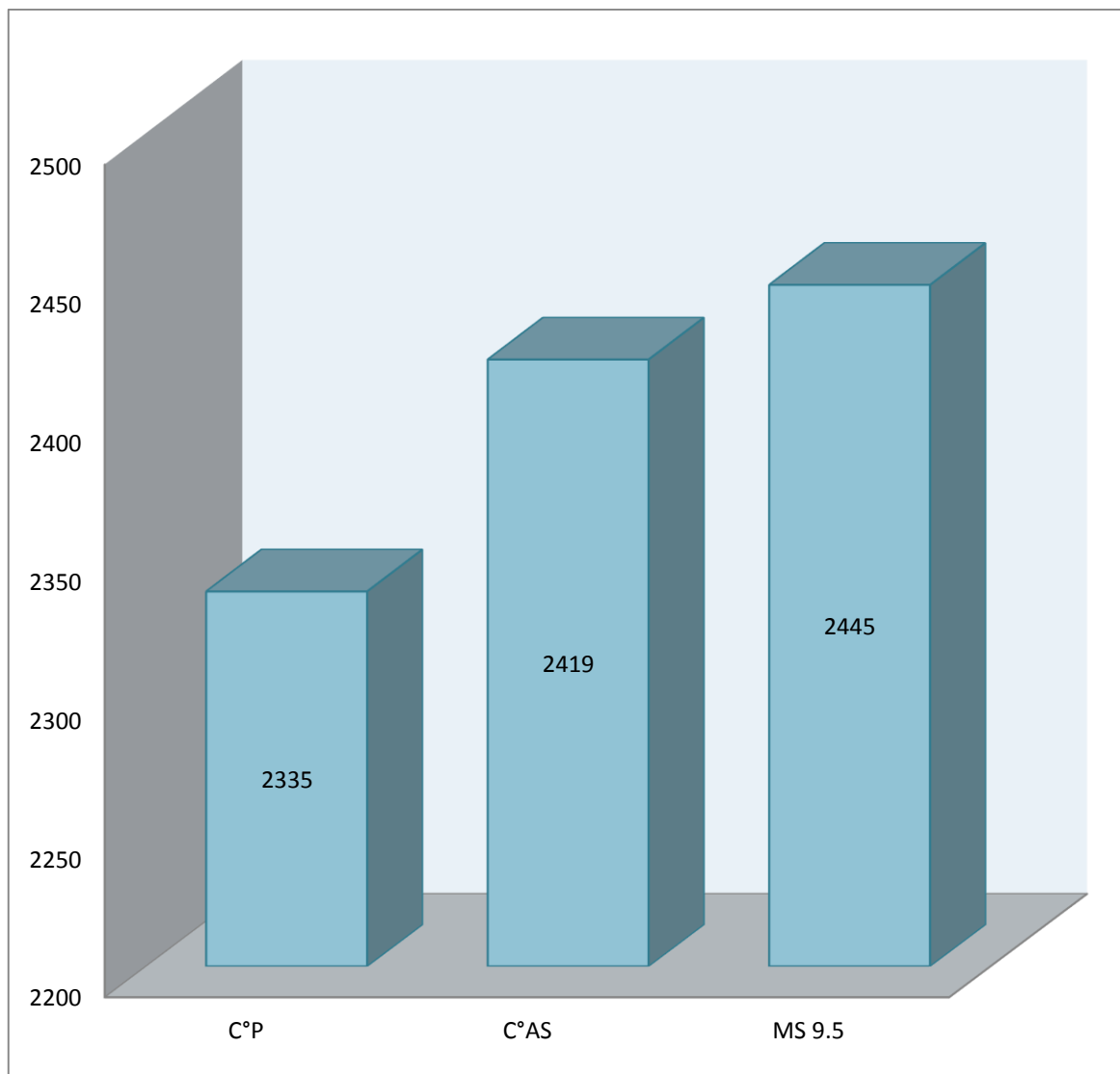


4.5.2 PESO UNITARIO.

Cuadro 32: Valores de peso unitario para el concreto fresco.

	C°P	C°AS	MS 9.5
<i>Peso de la muestra + recipiente (kg)</i>	18.95	19.54	19.73
<i>Peso del recipiente (kg)</i>	2.43	2.43	2.43
<i>Peso de la muestra (kg)</i>	16.52	17.11	17.30
<i>Volumen del recipiente (m3)</i>	0.007	0.007	0.007
PESO UNITARIO (Kg/m3)	2335	2419	2445

Gráfico 07: Peso unitario para cada tipo de mezcla de concreto

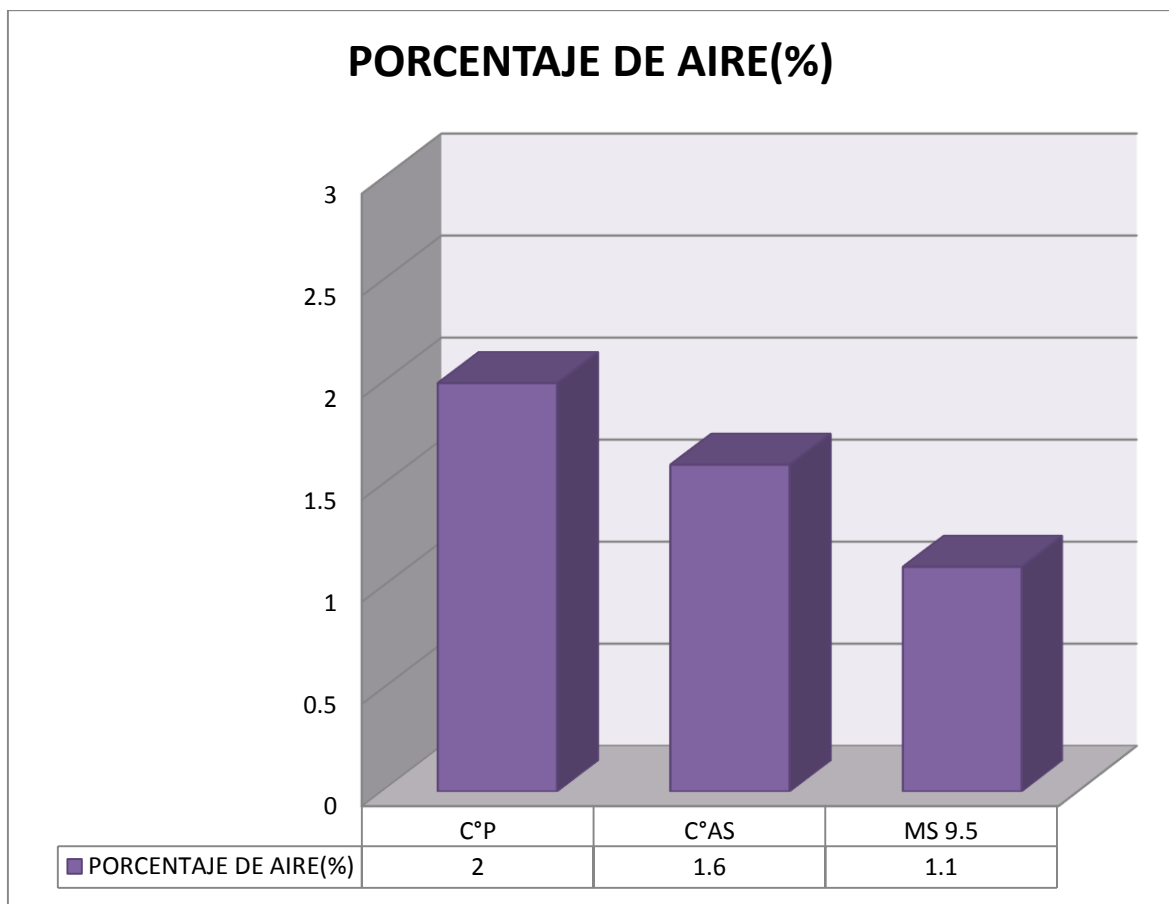


4.5.3 CONTENIDO DE AIRE.

Cuadro 33: Valores de porcentaje de aire.

MEZCLA	% DE AIRE
C°P	2
C°AS	1.6
MS 9.5	1.1

Gráfico 08: Contenido porcentual de aire, para cada tipo de mezcla de concreto.



4.5.4 TIEMPO DE FRAGUADO.

Cuadro 34: Resumen de tiempos de fragua inicial y final.

MEZCLA	T. F. INICIAL	T. F. FINAL
C°AS	4 h 23 min	8 h 28 min
MS 9.5	5 h 22 min	8 h 49 min

Gráfico 09: Tiempos de fragua inicial y final.

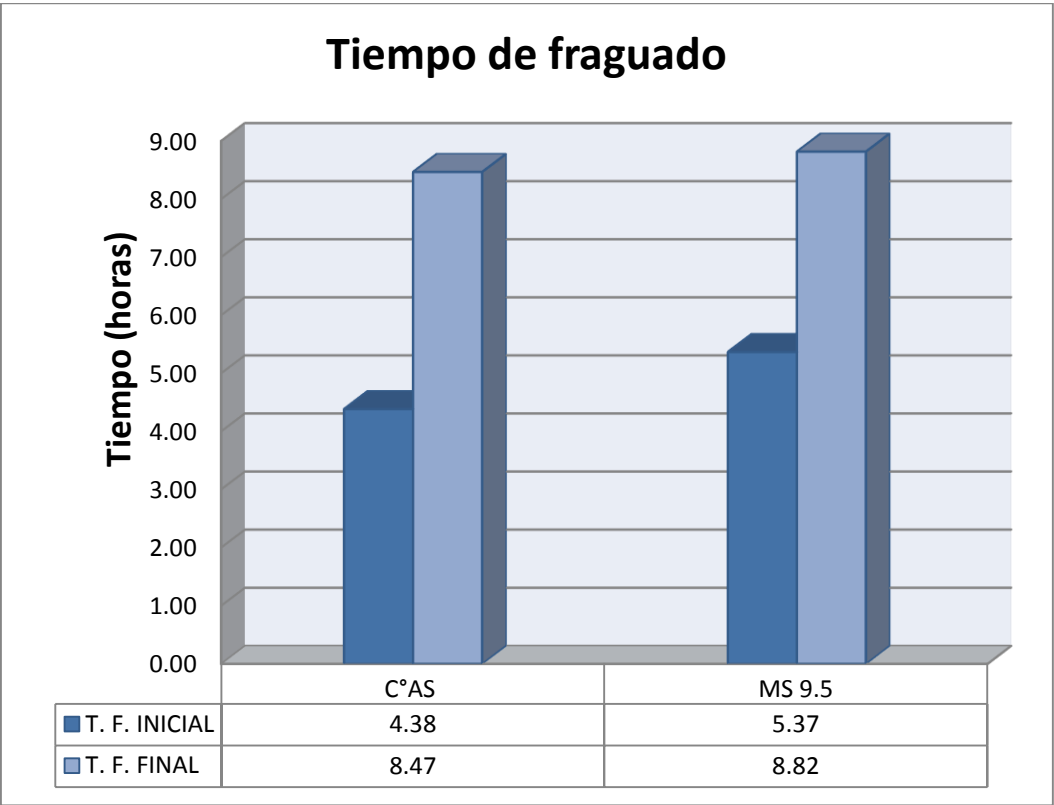
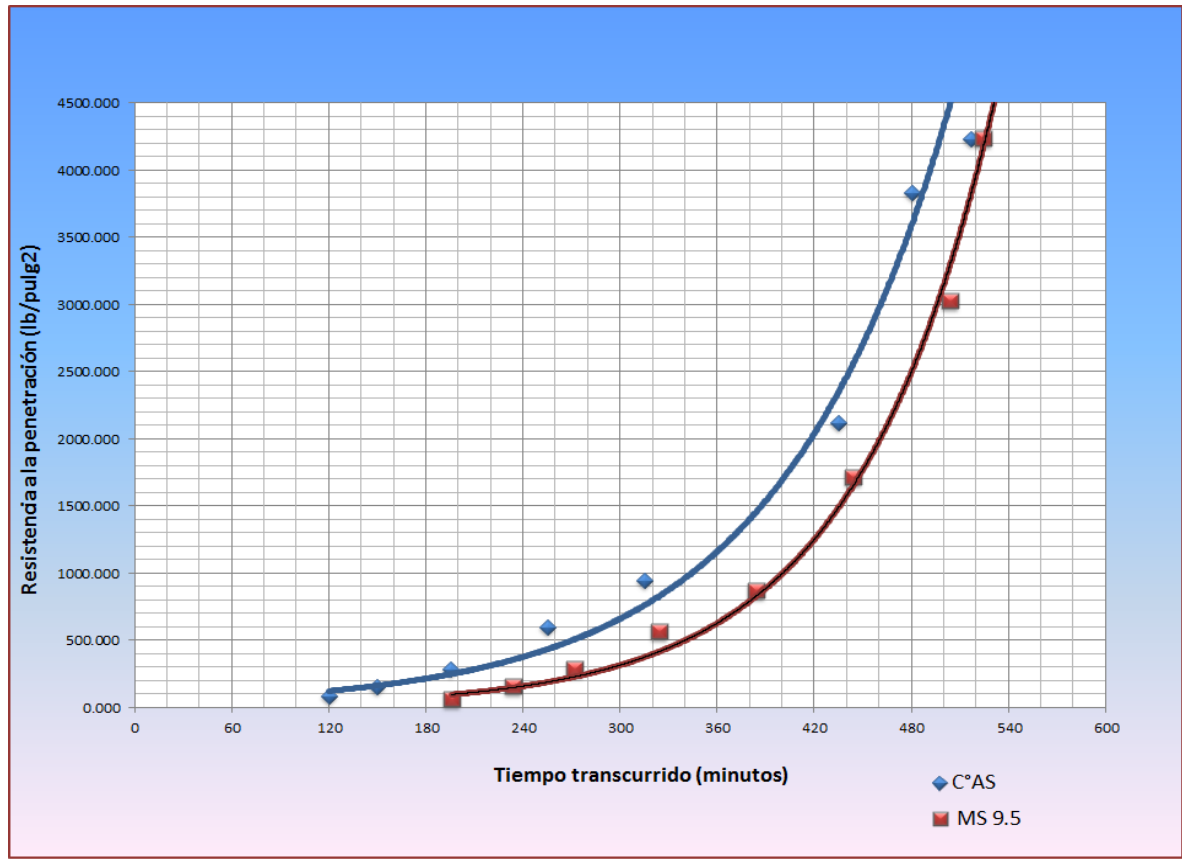


Gráfico 10: Curva de fragua de los diseños mas óptimos.



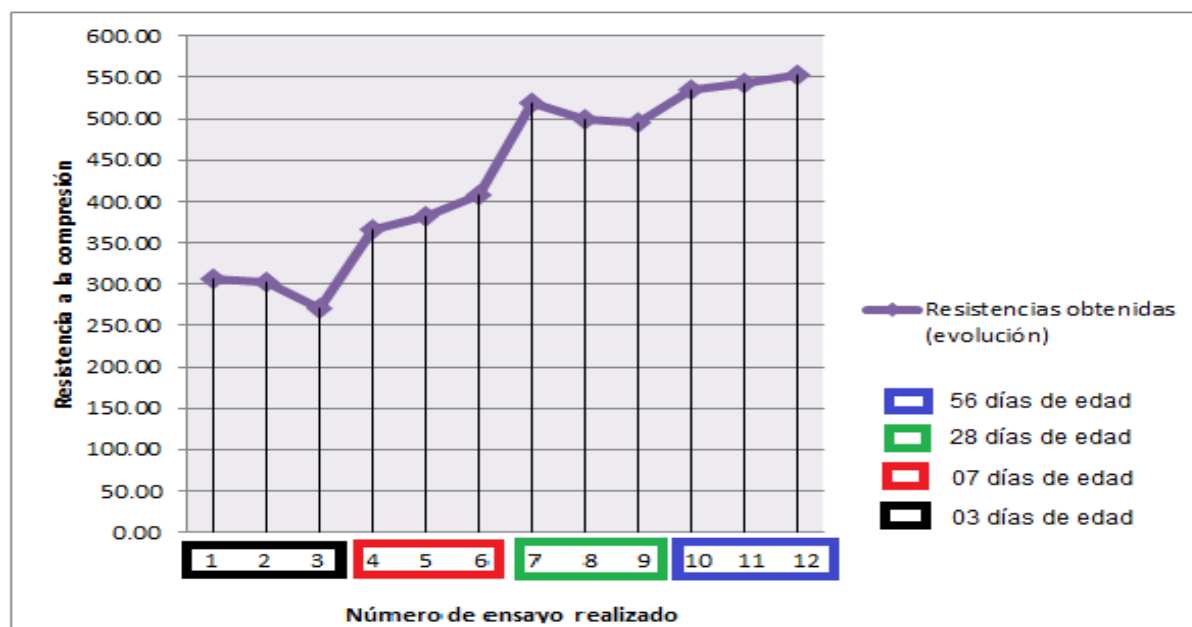
4.6 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

4.6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

Cuadro 35: Resistencia a la compresión del concreto C°P.

Resumen de la resistencia a la compresión C°P						
N°	EDAD (días)	ÁREA (cm^2)	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm^2)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm^2)	TIPO DE FALLA
1	3	79.80	24451	306.40	293.61	2
2	3	80.12	24295	303.24		2
3	3	80.60	21858	271.21		5
4	7	81.71	29898	365.89	385.28	5
5	7	82.52	31477	381.47		5
6	7	80.91	33051	408.47		3
7	28	80.12	41632	519.63	505.02	5
8	28	80.91	40470	500.16		2
9	28	80.12	39681	495.28		5
10	56	80.12	42889	535.32	543.97	2
11	56	80.12	43572	543.84		2
12	56	80.91	44725	552.75		2

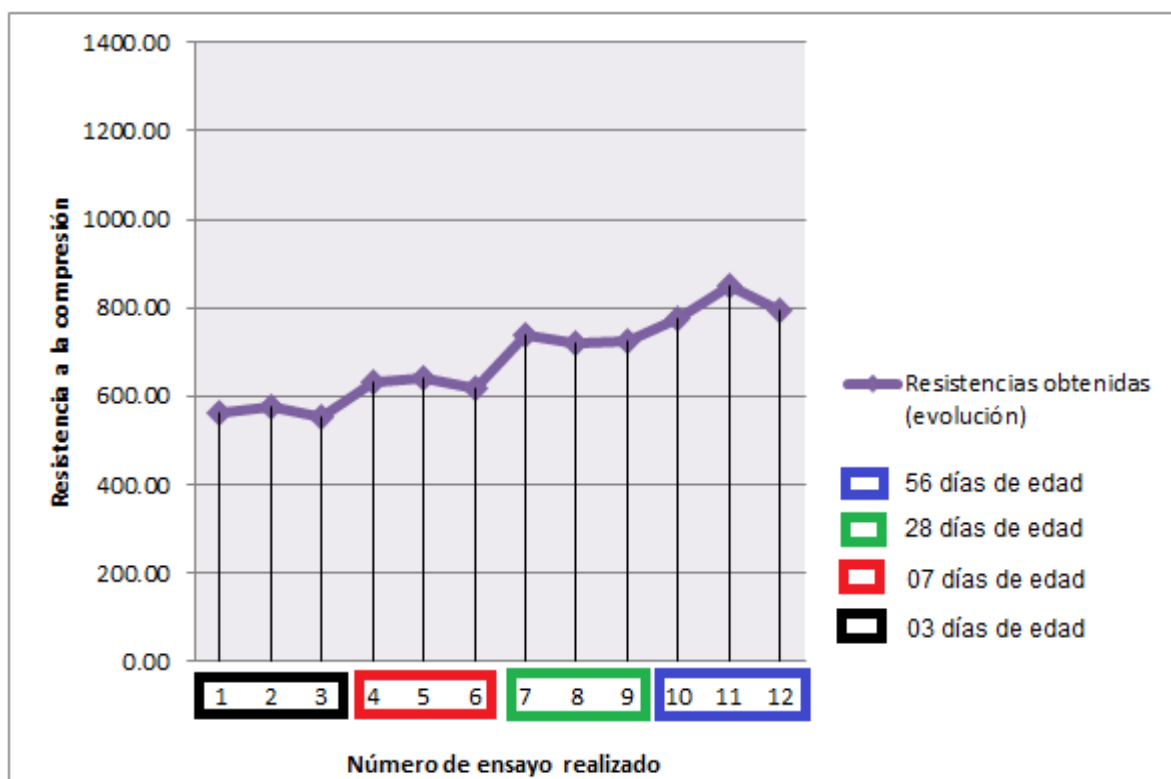
Gráfico 11: Evolución del concreto C°P.



Cuadro 36: Resistencia a la compresión del concreto C°AS.

Resumen de la resistencia a la compresión C°AS						
N°	EDAD (días)	ÁREA (cm ²)	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
1	3	80.12	45128	563.26	563.11	2
2	3	80.91	46548	575.28		3
3	3	80.12	44128	550.79		5
4	7	80.12	50757	633.52	631.65	2
5	7	80.91	52016	642.86		2
6	7	81.71	50545	618.57		2
7	28	80.91	59621	736.85	726.66	3
8	28	80.91	58144	718.59		2
9	28	80.91	58626	724.55		2
10	56	80.12	61938	773.08	804.52	5
11	56	80.12	68003	848.78		2
12	56	80.12	63429	791.69		5

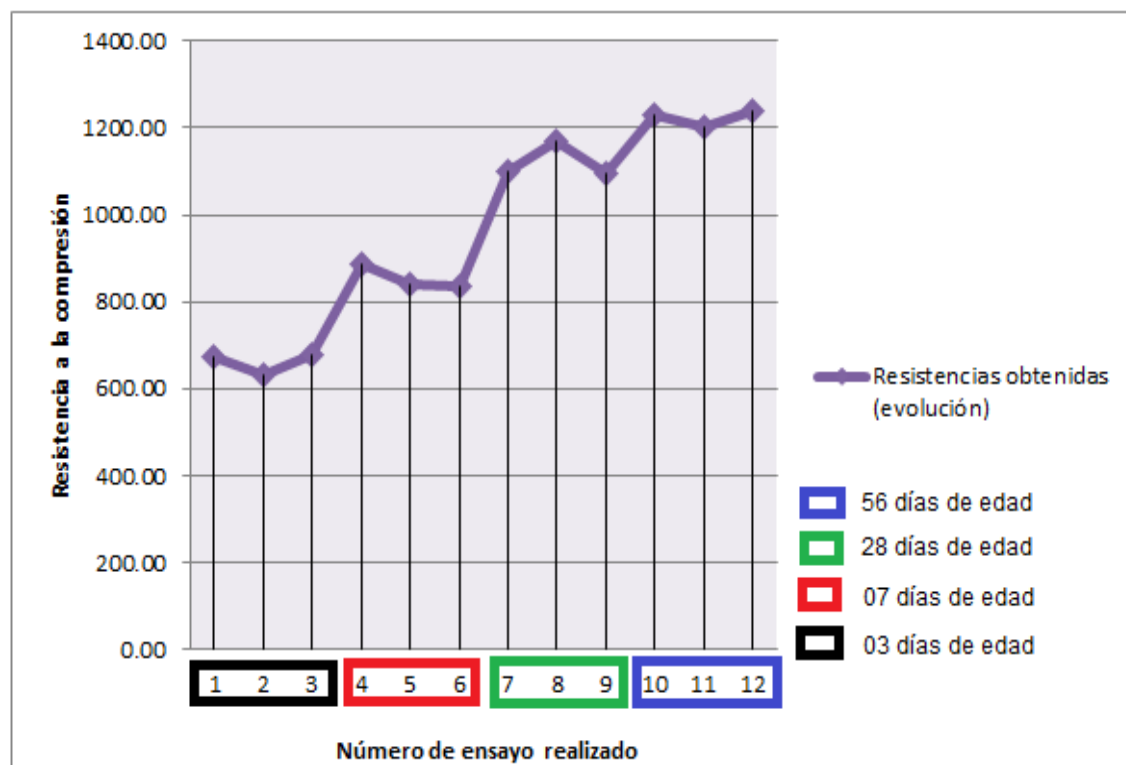
Gráfico 12: Evolución del concreto C°AS.



Cuadro 37: Resistencia a la compresión del concreto MS 9.5.

Resumen de la resistencia a la compresión MS 9.5						
N°	EDAD (días)	ÁREA (cm^2)	CARGA DE ROTURA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm^2)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm^2)	TIPO DE FALLA
1	3	80.12	53949	673.37	660.70	2
2	3	81.71	51697	632.67		5
3	3	80.91	54704	676.07		3
4	7	80.12	70950	885.56	852.82	2
5	7	81.71	68480	838.06		2
6	7	80.12	66885	834.83		3
7	28	81.71	89788	1098.82	1121.40	3
8	28	80.91	94689	1170.25		2
9	28	80.91	88610	1095.12		5
10	56	80.12	98410	1228.31	1221.95	3
11	56	80.91	97119	1200.28		2
12	56	80.12	99127	1237.26		2

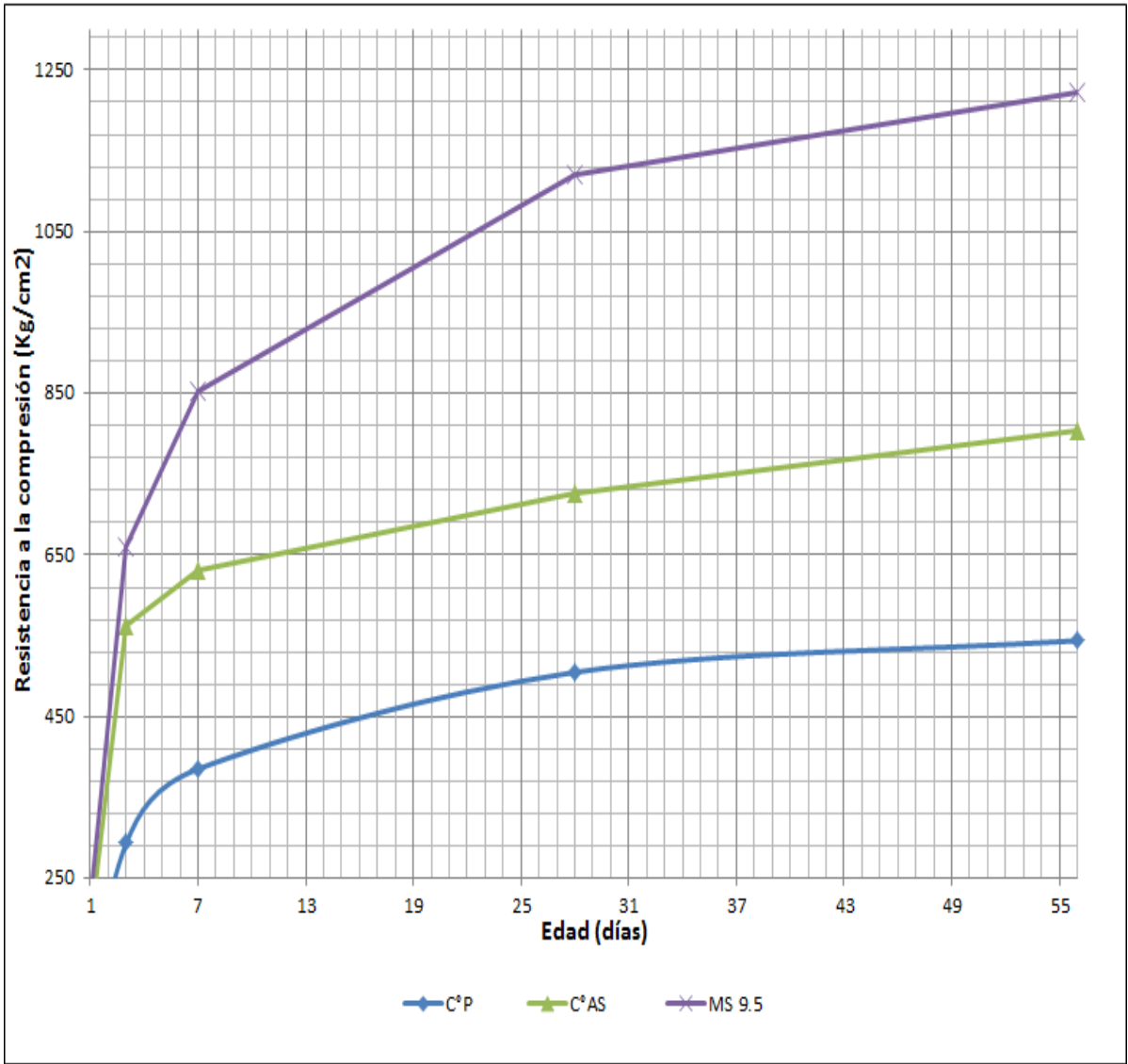
Gráfico 13: Evolución del concreto MS 9.5.



Cuadro 38: Resumen de la resistencia a la compresión según edad.

MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm^2)			
	EDAD (días)			
	3	7	28	56
C°P	294	385	505	544
C°AS	563	632	727	805
MS 9.5	661	853	1121	1222

Gráfico 14: Resistencia a la compresión para diferentes diseños de mezcla de concreto.

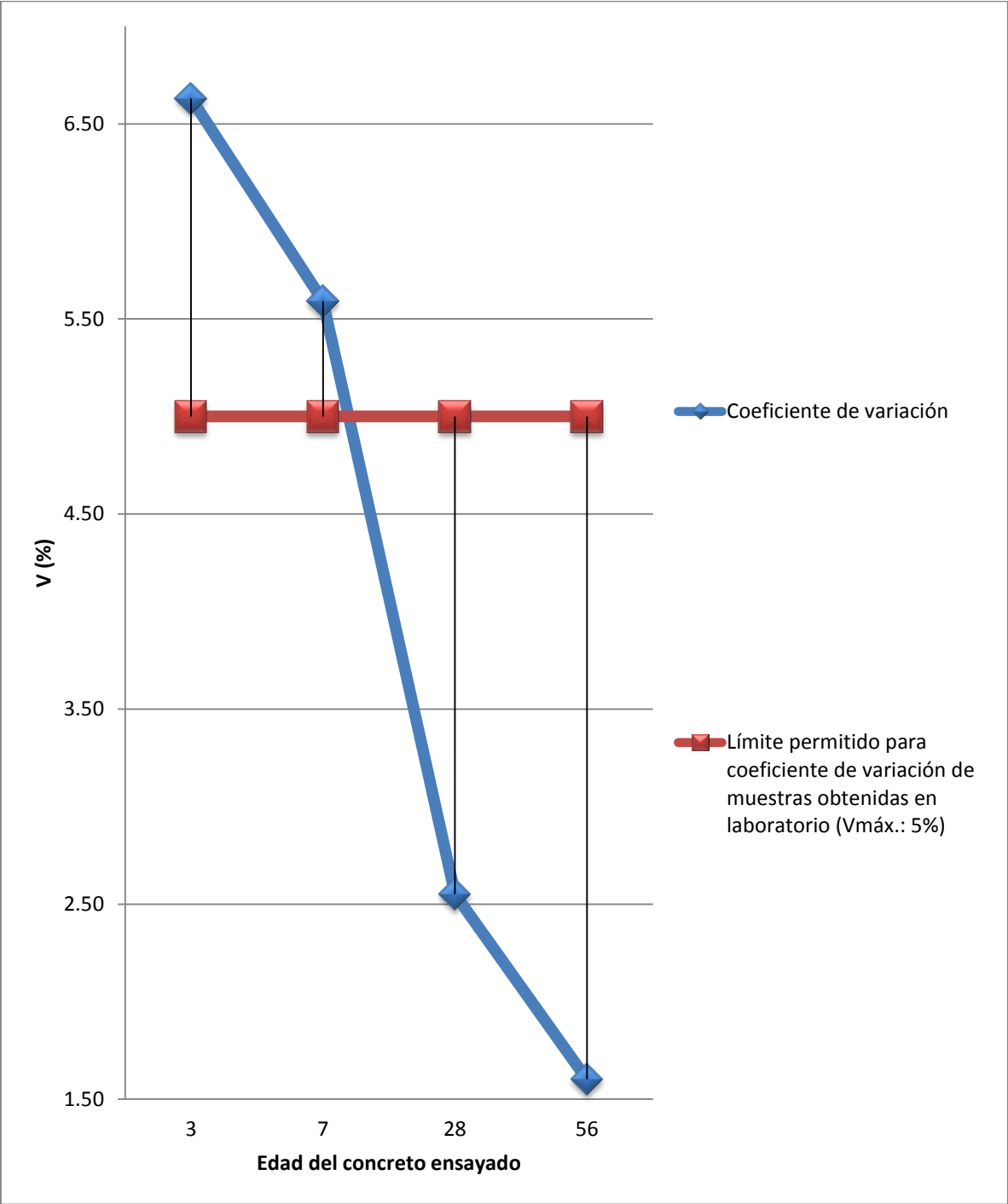


4.7 PARAMETROS ESTADÍSTICOS.

Cuadro N° 39: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia C°P

CONCRETO C°P				
EDAD (DÍAS)	MUESTRA	X	$X - X_{prom}$	$(X_n - X_{prom})^2$
3	1	306.4	12.78	163.41
	2	303.24	9.62	92.61
	3	271.21	-22.41	502.06
SUMATORIA		880.85		758.08
7	4	365.89	-19.39	375.84
	5	381.47	-3.81	14.49
	6	408.47	23.19	537.93
SUMATORIA		1155.83		928.26
28	7	519.63	14.61	213.35
	8	500.16	-4.86	23.65
	9	495.28	-9.74	94.93
SUMATORIA		1515.07		331.94
56	10	535.32	-8.65	74.82
	11	543.84	-0.13	0.02
	12	552.75	8.78	77.09
SUMATORIA		1631.91		151.93
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN				
EDAD (DÍAS)	3	7	28	56
ESTADÍSTICA	3	7	28	56
n.....	3	3	3	3
$\sum X$	880.85	1155.83	1515.07	1631.91
$\sum X/n = X_{prom}$	293.62	385.28	505.02	543.97
$\sum (X_n - X_{prom})^2$	758.08	928.26	331.94	151.93
S_1^2	379.04	464.13	165.97	75.96
S_1	19.47	21.54	12.88	8.72
V_1	6.63	5.59	2.55	1.60
Límite permitido para coeficiente de variación de muestras obtenidas en laboratorio (V _{máx.} : 5%)				
GRADO DE CONTROL DE CALIDAD				Excelente

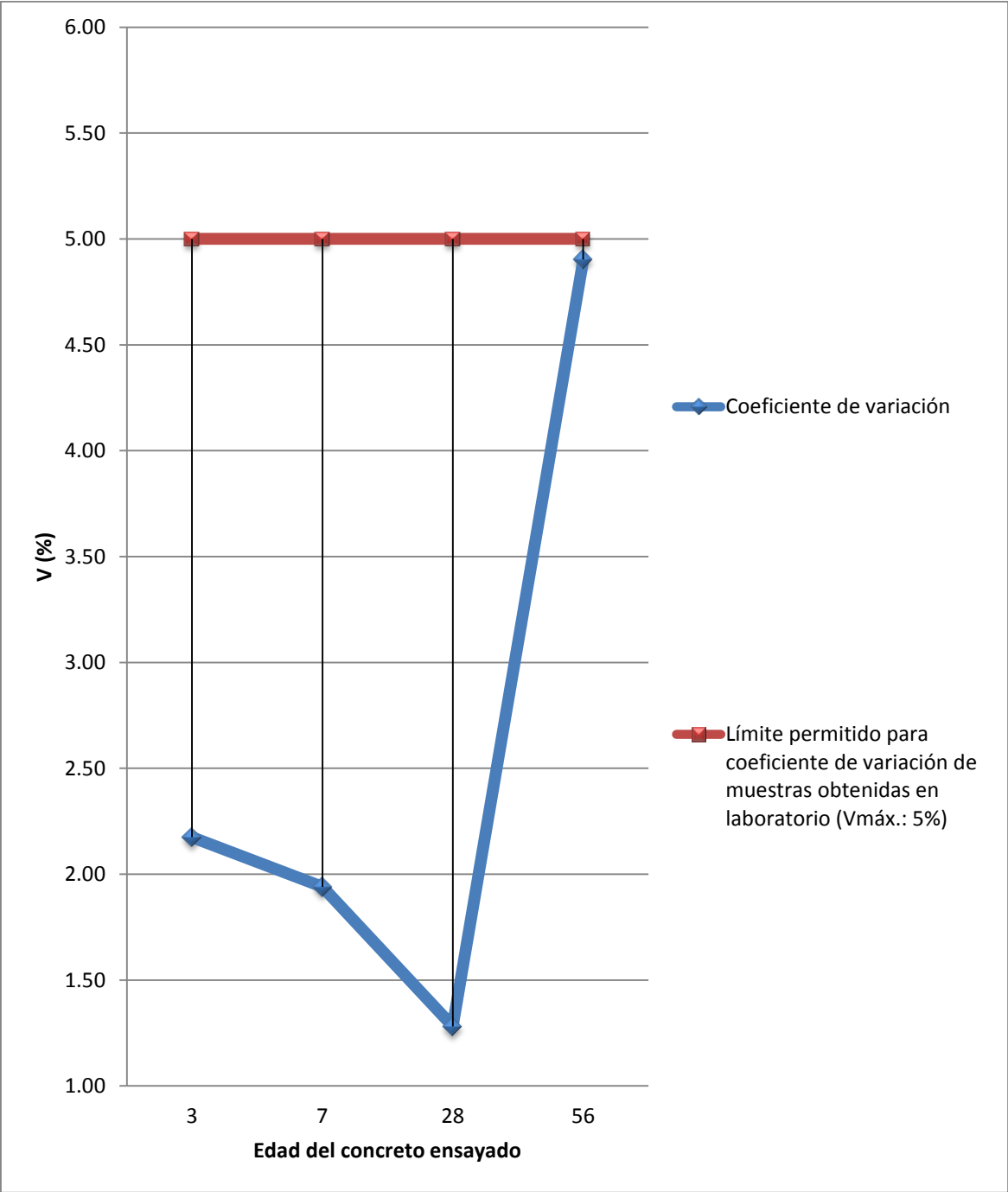
Gráfico N° 15: Variación de estadísticos descriptivos C°P



Cuadro N° 40: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia C°AS

CONCRETO C°AS				
EDAD (DÍAS)	MUESTRA	X	$X - X_{prom}$	$(X_n - X_{prom})^2$
3	1	563.26	0.15	0.02
	2	575.28	12.17	148.11
	3	550.79	-12.32	151.78
SUMATORIA		1689.33		299.91
7	4	633.52	1.87	3.50
	5	642.86	11.21	125.66
	6	618.57	-13.08	171.09
SUMATORIA		1894.95		300.25
28	7	736.85	10.19	103.77
	8	718.59	-8.07	65.18
	9	724.55	-2.11	4.47
SUMATORIA		2179.99		173.41
56	10	773.08	-31.44	988.26
	11	848.78	44.26	1959.24
	12	791.69	-12.83	164.52
SUMATORIA		2413.55		3112.03
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN				
EDAD (DÍAS)	3	7	28	56
ESTADÍSTICA	3	7	28	56
n.....	3	3	3	3
$\sum X$	1689.33	1894.95	2179.99	2413.55
$\sum X/n = X_{prom}$	563.11	631.65	726.66	804.52
$\sum (X_n - X_{prom})^2$	299.91	300.25	173.41	3112.03
S_1^2	149.96	150.12	86.71	1556.02
S_1	12.25	12.25	9.31	39.45
V_1	2.17	1.94	1.28	4.90
Límite permitido para coeficiente de variación de muestras obtenidas en laboratorio (Vmáx.: 5%)				
GRADO DE CONTROL DE CALIDAD	Excelente	Excelente	Excelente	Bueno

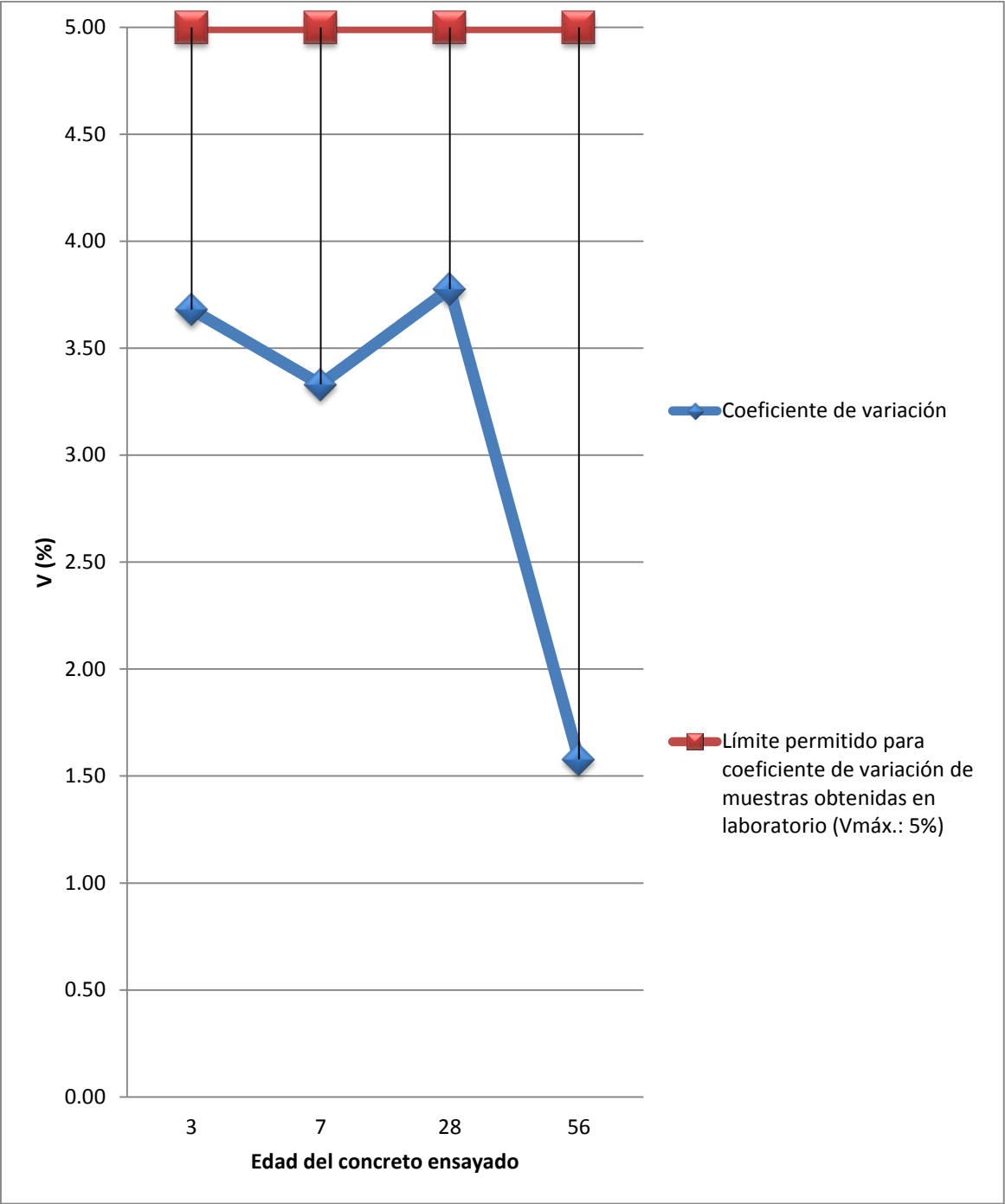
Gráfico N° 16: Variación de estadísticos descriptivos C°AS



Cuadro N° 41: Estadísticos descriptivos del concreto de alta resistencia MS 9.5

CONCRETO MS 9.5				
EDAD (DÍAS)	MUESTRA	X	$X - X_{prom}$	$(X_n - X_{prom})^2$
3	1	673.37	12.67	160.44
	2	632.67	-28.03	785.87
	3	676.07	15.37	236.13
SUMATORIA		1982.11		1182.45
7	4	885.56	32.74	1072.13
	5	838.06	-14.76	217.76
	6	834.83	-17.99	323.52
SUMATORIA		2558.45		1613.41
28	7	1098.82	-22.58	509.71
	8	1170.25	48.85	2386.65
	9	1095.12	-26.28	690.46
SUMATORIA		3364.19		3586.82
56	10	1228.31	6.36	40.45
	11	1200.28	-21.67	469.59
	12	1237.26	15.31	234.40
SUMATORIA		3665.85		744.43
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN				
EDAD (DÍAS)	3	7	28	56
ESTADÍSTICA	3	7	28	56
n.....	3	3	3	3
$\sum X$	1982.11	2558.45	3364.19	3665.85
$\sum X/n = X_{prom}$	660.70	852.82	1121.40	1221.95
$\sum (X_n - X_{prom})^2$	1182.45	1613.41	3586.82	744.43
S_1^2	591.22	806.70	1793.41	372.22
S_1	24.32	28.40	42.35	19.29
V_1	3.68	3.33	3.78	1.58
Límite permitido para coeficiente de variación de muestras obtenidas en laboratorio (V _{máx.} : 5%)				
GRADO DE CONTROL DE CALIDAD	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente

Gráfico N° 17: Variación de estadísticos descriptivos MS 9.5



4.8 ANÁLISIS DE COSTOS

Cuadro 42: Costo del concreto patrón (C°P).

Descripción	Unid.	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
CEMENTO	BLS.	13.88	23.7	329.01
AGUA POTABLE	M3	0.24	1.5	0.36
ARENA TRITURADA	M3	0.34	55	18.43
PIEDRA CHANCADA HUSO 07	M3	0.64	60	38.53
TOTAL (S/.)				386.34

Cuadro 43: Costo del concreto más aditivo superplastificante (C°AS).

Descripción	Unid.	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
CEMENTO	BLS.	14.00	23.7	331.92
AGUA POTABLE	M3	0.16	1.5	0.24
ARENA TRITURADA	M3	0.39	55	21.45
PIEDRA CHANCADA HUSO 07	M3	0.76	60	45.50
ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	CIL	0.041	3467.20	142.86
TOTAL (S/.)				541.96

Cuadro 44: Costo del concreto con aditivo superplastificante más adición de microsilíce (MS 9.5).

Descripción	Unid.	Cantidad	P.U. (S/.)	Parcial
CEMENTO	BLS.	13.10	23.7	310.48
AGUA POTABLE	M3	0.16	1.5	0.24
ARENA TRITURADA	M3	0.36	55	19.78
PIEDRA CHANCADA HUSO 07	M3	0.76	60	45.48
ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	CIL.	0.040	3467.20	138.05
MICROSÍLICE	BLS.	2.34	102.86	240.45
TOTAL (S/.)				754.47

Cuadro 45: Comparación de los costos del concreto.

MEZCLA	COSTO (S/.)	F'c (56 días) Kg/Cm2	(Kg/Cm2)/S/.
C°P	386.34	544	1.41
C°AS	541.96	805	1.49
MS 9.5	754.47	1222	1.62

Gráfico 18: Costo y resistencia a la compresión a la edad de 56 días, para concretos de alta resistencia.

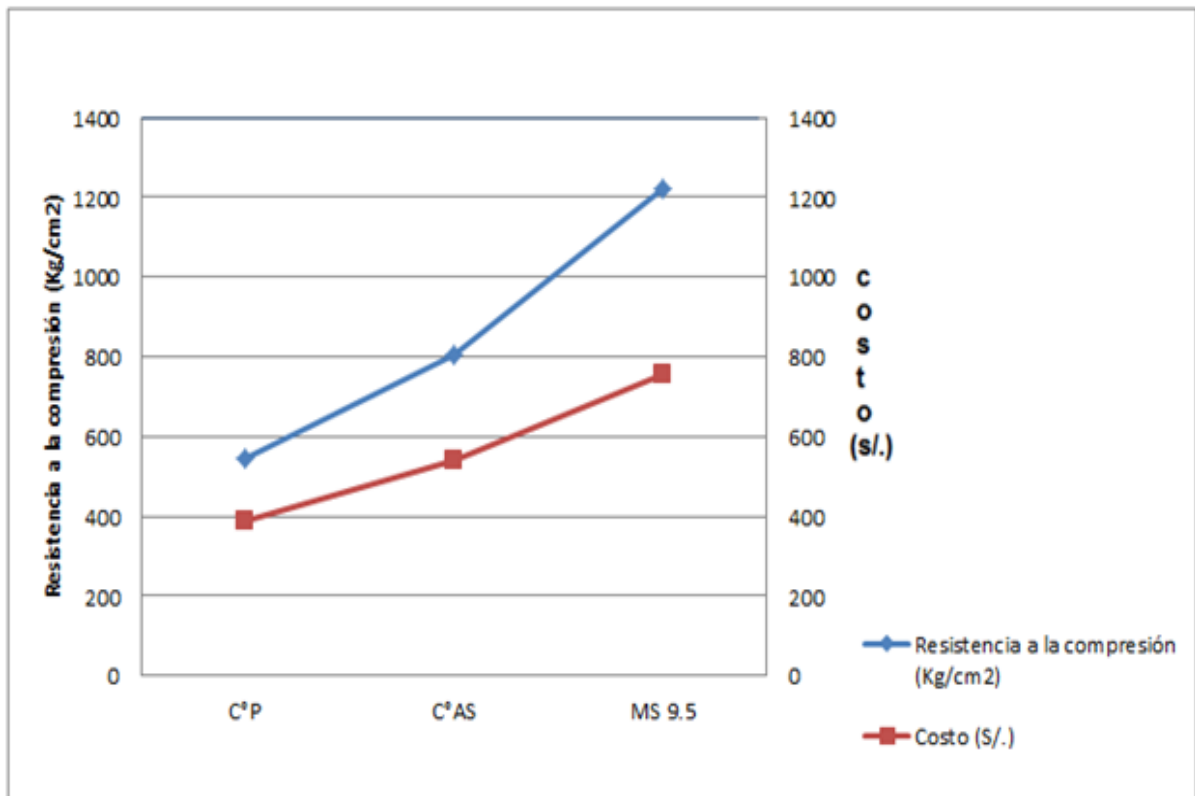
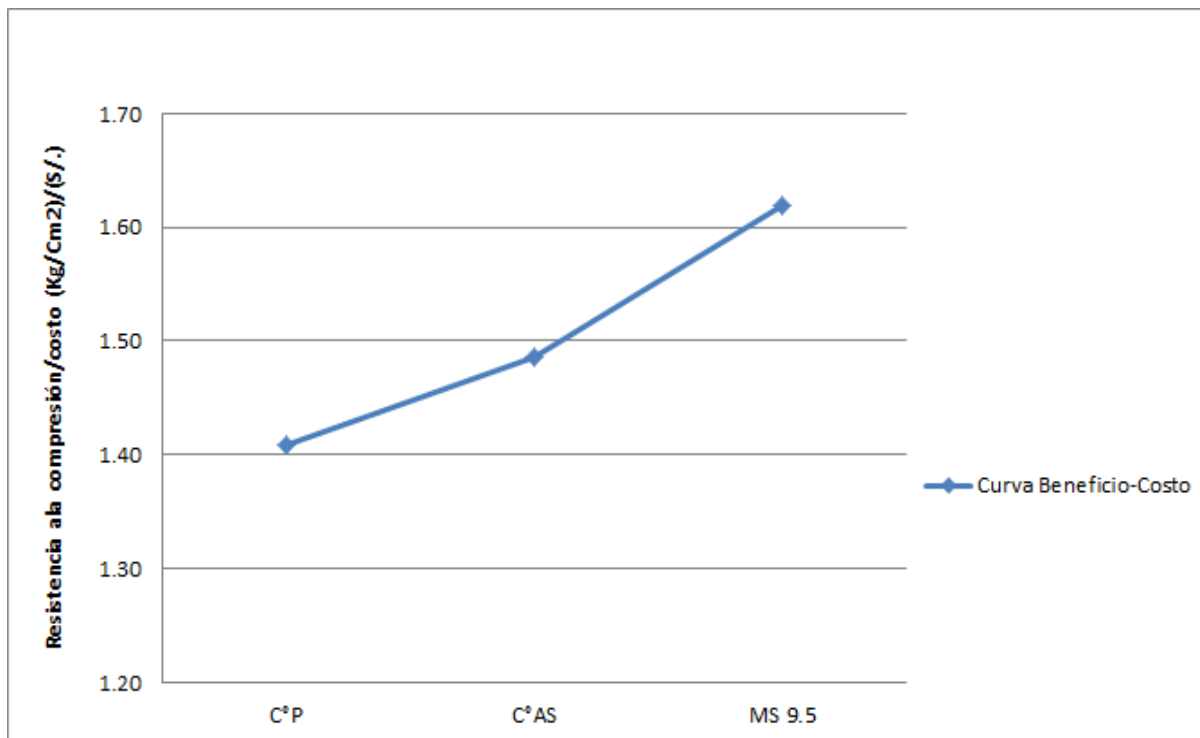


Gráfico 19: Beneficio-costo para concretos de alta resistencia obtenidos.



V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

5.1.1 GENERALIDADES:

Los resultados obtenidos a nivel general son exitosos y muy alentadores, ya que por primera vez se han utilizado agregados locales para la creación de un concreto de alta resistencia de $f'c \geq 900 \text{ Kg/Cm}^2$, habiendo usado específicamente, agregado grueso de T.N.M. de 1/2" y arena triturada provenientes de la cantera Buenos Aires – río Huallaga – distrito Picota – región de San Martín, además de cemento Portland tipo I (proveniente de la planta procesadora de cementos Pacasmayo ubicada en la localidad de Rioja); también demandó el uso de un aditivo superplastificante de tercera generación (Viscocrete 20HE) y adiciones minerales como la microsílíce que han hecho posible producir el concreto de alta resistencia con propiedades autocompactantes. Propiedades que nos acercan a un concreto de alta performance.

5.1.2 AGREGADOS:

El agregado fino proveniente de la cantera Buenos Aires cumple la norma ASTM, su porcentaje de finos es menor al 10% como se muestra en el cuadro 19. Es un material limpio libre de impurezas orgánicas dañinas (ver cuadro 20).

El agregado grueso se ubicó parcialmente en el HUSO granulométrico 07 de la NTP 400.037 como se muestra en el gráfico 04; mientras que el agregado fino se encuentra parcialmente dentro de los límites permisibles por la NTP 400.037, como se muestra en el gráfico 01; posee un módulo de finura igual a 3.08 catalogándola como arena gruesa (valor mostrado en el cuadro 16). Según el ACI 363R un valor de módulo de finura para el agregado fino alrededor de 3 ± 0.3 y un tamaño nominal máximo del agregado grueso de 1/2", garantizan la obtención de un concreto de alta resistencia.

De acuerdo con el análisis, la manipulación y los resultados obtenidos y resumidos en el cuadro 26, se puede decir lo siguiente sobre el agregado grueso: Material de origen ígneo, clasificada como grava triturada (trituration artificial), partículas de forma parcialmente redondeada y angular (orillas bien definidas con caras planas, no acentuada); piedra chancada de textura dura de TNM 1/2"; poco porosa, densa, dura y

de textura áspera. Respecto al contenido de humedad, este se obtuvo previo a cada diseño de mezcla, ya que representa una característica importante, pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto; razón por la que se debe tomar en cuenta juntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, buscando que se cumplan las hipótesis asumidas en el diseño inicial.

También se determinó el contenido químico presente en los agregados (ver cuadros 23 y 24), obteniéndose resultados alentadores y que se encuentran muy por debajo de lo que permite las normas que lo rigen, llegando a la conclusión que estos no tienen una presencia significativa de agentes dañinos y/o sustancias nocivas para el concreto (cloruros, sulfatos y sales solubles); garantizando con esto una buena evolución para el concreto y una buena relación con el acero.

5.1.3 DISEÑOS DE MEZCLA:

Se diseñaron tres tipos diferentes de concretos de alta resistencia: Concreto patrón: C°P (cuadro 27), concreto más aditivo superplastificante : C°AS (cuadro 28) y un concreto con aditivo superplastificante más microsilíce al 9.5%: MS 9.5 (cuadro 29). Las mezclas en su composición tienen en promedio el 68% ocupado por los agregados, con la relación AF/AG (agregado fino/agregado grueso) variable para los tres tipos de mezclas diseñadas (C°P: 38/62, C°AS: 32/68 y MN 9.5: 36/64). Las relaciones agua/cemento para el C°P fue de 0.40, mientras que para los diseños C°AS y MS 9.5 fue de 0.25.

Para obtener el CAR de $f'c$ superior e igual a los 900 Kg/Cm^2 , se procedió a realizar dos diseños previos al diseño final. El diseño C°P usó los materiales convencionales y/o básicos (cemento, agua y agregados) para determinar el comportamiento de estos al ser mezclados bajo condiciones mínimas de A/C.

El C°AS fue un paso más y agregó un superplastificante con la finalidad de reducir la relación A/C y así garantizar la obtención del CAR; y finalmente a la mezcla C°AS se le adicionó la microsilíce, obteniendo resultados exitosos.

Respecto al material cementicio, se trató de trabajar con el mínimo posible y con una cantidad prácticamente homogénea por metro cúbico para los tres diseños (C°P: 590

Kg; C°AS: 595.21 Kg; MS 9.5: 615.20 Kg); material cementicio que en el caso del diseño final (MS 9.5) fue reemplazado por microsilíce en un 9.5% del total descrito anteriormente.

Uno de los principales detalles en el diseño fue la determinación de la dosis adecuada del aditivo superplastificante, usando finalmente el 1.5 % y 1.4% del peso del material cementicio para los diseños C°AS y MS 9.5, respectivamente. Estas dosificaciones generaron un concreto óptimo con propiedades en estado fresco. El aditivo fue añadido sin considerar su aporte de fluido en la relación A/C.

5.1.4 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO.

5.1.4.1 Consistencia:

El concreto patrón (C°P) de consistencia mediana (plástica), posee un asentamiento de 3.55" debido a que no posee ningún aditivo y a una relación A/C igual a 0.40; la mezcla C°AS tiene un asentamiento o slump de 8.75"; y finalmente, para el diseño MS 9.5 se consiguió un slump de 7.1". Las extensibilidades fueron de 20, 52 y 43 cm. respectivamente, como se muestra en el cuadro 31.

Las dos últimas mezclas (C°AS y MS 9.5) muestran una consistencia fluida y de excelente trabajabilidad (autonivelante y autocompactante). Para la consistencia de los diseños C°AS y MS 9.5 no se aplican los límites tradicionales, debido a que este es inducido químicamente (superplastificante), según lo descrito por el Comité ACI 211.4-8.

5.1.4.2 Peso unitario.

Se obtuvo concretos de pesos normales (2250 a 2450 Kg/m³). La mezcla de concreto patrón (C°P) presenta un peso unitario de 2335 Kg/m³, muy por debajo de los obtenidos en el C°AS y MS 9.5 (2419 y 2445 Kg/m³ respectivamente). Estos valores se presentan en el cuadro 32 y en forma gráfica a través del gráfico 07. Esto se debe al uso del aditivo superplastificante que genera propiedades autocompactantes en el concreto y a la reducción de la relación agua/cemento que genera mayor participación de los insumos de mayor densidad, como son los agregados (ver gráfico 05).

5.1.4.3 Contenido de aire.

Los concretos diseñados en esta investigación presentan pequeños porcentajes de contenido de aire atrapados en cada mezcla (C°P: 2%, C°AS: 1.6% y el MS 9.5: 1.1%), resultados que se presentan en el gráfico 08. Como se puede apreciar, el porcentaje de vacíos atrapados en la mezcla va en descenso significativo; esencialmente se nota la diferencia entre el C°P y las mezclas C°AS y MS 9.5, esto se debe al uso del aditivo superplastificante, que genera categóricamente propiedades autocompactantes y consistencia fluida del concreto.

Lo que concuerda con el ACI 211.4 para un agregado de TM igual a 3/4", un contenido de vacíos del 2% sin adición de aditivo y 1.5 con adición del aditivo superplastificante. Esto indica que los concretos preparados con superplastificante más microsilíce hacen del concreto más compacto, por lo que se aprecia un menor contenido de aire atrapado (1.1%)

5.1.4.4 Tiempo de fraguado.

Los tiempos de fraguado inicial y final se determinaron solo para los diseños C°AS y MS 9.5, como se aprecia en el cuadro 34.

La variación entre el tiempo de fraguado inicial entre ambas mezclas es de aproximadamente una hora, siendo la mezcla MS 9.5 la que demoró ese tiempo en registrar la resistencia a la penetración de 500 lb/pulg.²; pero como se aprecia la variación en el tiempo de fraguado final es inversa: Es decir, que la mezcla MS 9.5 logró obtener una resistencia a la penetración de 4000 lb/pulg.² antes que la mezcla C°AS, donde la variación en tiempo es de aprox. 20 minutos. Recordemos que estos tiempos de fraguados son representativos; ya que se obtuvieron aprox. a una temperatura ambiente de 20 °C.

5.1.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

5.1.5.1 Resistencia a la compresión.

Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión a edades de 03, 07, 28 y 56 días respectivamente (ver cuadro 38), diseñadas para obtener el 100% de su

resistencia a los 28 días de edad. De cuyos resultados se puede decir lo siguiente: El avance evolutivo porcentual del concreto C°P y MS 9.5 fue prácticamente similar, a diferencia del concreto C°AS que registró un porcentaje evolutivo inicial muy superior a las demás mezclas, y cuya evolución a las edades antes mencionadas fue prácticamente de 10 puntos porcentuales por fecha. Se aprecia también que el concreto C°P no consiguió un incremento significativo después de los 28 días de curado, logrando aumentar en tan solo 3 puntos porcentuales.

Respecto a las resistencias alcanzadas, se puede decir que el panorama es diferente al analizado anteriormente (evolución porcentual); las mezclas C°AS y MS 9.5 presentan resistencias a la compresión superior a la mezcla C°P; a tal punto de que la resistencia alcanzada a los 56 días por el C°P es inferior a la obtenida por las mezclas C°AS y MS 9.5 a la edad de 3 días. Respecto a la mezcla C°AS, esta presenta una resistencia inicial a la compresión alta (03 días), pero su evolución promedió para las edades de 07, 28 y 56 días tan solo fue de 80 Kg/cm^2 , por lo que tan solo llegó a alcanzar una resistencia a la compresión de 805 Kg/cm^2 a los 56 días. La máxima resistencia a la compresión la obtuvo la mezcla MS 9.5 y es de 1222 Kg/cm^2 a la edad de 56 días, esto se obtuvo con la adición de microsilíce al 9.5% del peso del cemento. La ganancia de resistencia de este tipo de concreto es muy importante, ya que a los 3 días alcanza los 661 Kg/cm^2 ; a los 7 días alcanza los 853 Kg/cm^2 y a los 28 días llega a los 1121 Kg/cm^2 , tal como se muestra en el cuadro 30.

5.1.6 ANÁLISIS DE COSTOS.

Como se observa en los cuadros 42, 43 y 44, se pueden apreciar el análisis completo por costo unitario de cada insumo utilizado para cada mezcla; observando que la mezcla MS 9.5 es la que posee el mayor costo de producción por m^3 de mezcla es de (S/. 754.47); a diferencia de las mezclas C°P y C°AS que son más económicas (386.34 y 541.96 nuevos soles, respectivamente). Estas variaciones se deben al costo unitario que tiene el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 20HE (este insumo es el más costoso: S/. 3467.20/cilindro de 200 L.), y la adición de microsilíce Sika Fume (tiene un costo en comparación con su similar el cemento de más de 7 veces/kilogramo). Pero el costo queda justificado al obtener resistencias significativamente superiores a la del C°P, y que serían prácticamente imposibles de obtener sin el uso del aditivo y la adición.

El factor beneficio - costo que se encuentra en el cuadro 45, nos muestra que el precio de cada Kg/Cm^2 , por unidad de nuevo sol, no varía significativamente. La variación entre el C°P y el C°AS es de tan solo 08 céntimos y la diferencia entre el C°P y MS 9.5 es de tan solo 21 céntimos; variaciones monetarias insignificantes que nos permiten alcanzar altas resistencias, resistencias que serían imposibles de alcanzar sin la incorporación del superplastificante y la microsilíce (materiales más costosos de todos los insumos usados).

5.2 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.2.1 AGREGADOS:

Con respecto al porcentaje máximo de finos que pasen la malla N° 200: de acuerdo con la norma ASTM C33 o la NTP 400.037 recomiendan que las sustancias dañinas (limos y arcillas) no excedan el porcentaje máximo del 7% para la arena proveniente del triturado, pero este porcentaje puede variar a un máximo del 10%, ya que no se podría considerar que todo ese porcentaje de finos son sustancias dañinas, ya que no es solo arcilla o limo, sino que también contiene en gran cantidad piedra pulverizada. Considerando un agregado ADECUADO a la arena triturada utilizada, que posee un 7.9% de finos que pasan la malla N° 200.

Con respecto al agregado grueso: Como se aprecia en el análisis granulométrico del agregado grueso presentado en los gráficos 02 y 03, se observa que ambos agregados se encuentran opuestamente fuera respecto a los límites granulométricos dados por la norma ASTM C33, específicamente del HUSO 07; por lo que se procedió a realizar la combinación de ambos agregados (ver cuadro 25) y de acuerdo a la aproximación de su curva granulométrica a ubicarse dentro de los límites posibles dados por el HUSO 07, se obtuvo la combinación óptima del agregado grueso, al que se hace referencia en el análisis de los resultados. Los agregados elegidos para esta investigación fueron la piedra chancada de $\frac{1}{2}$ " y la piedra chancada de $\frac{3}{8}$ ", las cuales se encuentran disponibles en el mercado local, con esos nombres comerciales; pero como se aprecia en el análisis granulométrico de la piedra chancada de $\frac{3}{8}$ " (cuadro N° 18), ésta tiene un porcentaje significativo de material retenido en la malla de $\frac{1}{2}$ ", por lo que su TNM es de $\frac{1}{2}$ "; variación que se pudo haber producido por diversos factores como son:

almacenamiento en la chancadora cerca al agregado de ½", fallas en la malla de la chancadora, etc.; pero que no representaron problema alguno.

Se usó el agregado triturado debido a la mayor adherencia mecánica de las partículas de perfil angular, que produce mayor resistencia que la grava redondeada.

Con respecto a la granulometría del agregado: En las gráficas 01 y 04 se aprecian las curvas granulométricas del agregado fino y grueso, respecto a los límites propuestos por la NTP 400.037 (para cada tipo respectivamente); las cuales no están al 100% dentro de estos límites. Sin embargo, para la validación de los agregados vamos a la misma norma que permite el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, siempre y cuando se asegure que el material producirá el concreto de la calidad requerida.

Con respecto al módulo de finura: El M.F. de la arena es de 3.08, convirtiéndola en una arena gruesa, recomendada para este tipo de concretos ya que dan mejor trabajabilidad y resistencia en compresión, concordando finalmente con esta premisa.

Respecto a su peso específico y porcentaje de absorción: El agregado grueso con una capacidad de absorción menor al 1% y un peso específico elevado (ver cuadro 26), garantizan un buen comportamiento en la mezcla; su influencia radica en el aporte de agua al concreto.

5.2.2 DISEÑO DE MEZCLAS.

Con respecto a la resistencia de diseño: según parámetros dados por el ACI 211.4-3, las mezclas en laboratorio serán diseñadas para lograr alcanzar una resistencia promedio (f'_{cr}), y así obtener un promedio de resistencia a la compresión superior a la resistencia especificada de diseño (f'_c), tal como se realizó en la presente investigación; ya que en laboratorio intervienen diversos factores que aseguran obtener la resistencia en su máximo esplendor, a diferencia de las condiciones en campo, en las usando el mismo diseño, a lo máximo se logrará obtener un 85 % de la resistencia alcanzada en laboratorio. Finalmente, se puede determinar que el diseño de mezclas del concreto MS 9.5, logrará obtener la resistencia f'_c bajo condiciones de campo, ya que en laboratorio se logró superar la resistencia promedio (f'_{cr}).

Con respecto a algunos materiales adicionales usados: Respecto al uso de la microsílice, se usó, porque existen diversos investigadores, en especial E. Rivva López, concluyeron que la adición de microsílice genera un incremento en la resistencia en compresión en concretos, gracias a una reducción en los esfuerzos de adherencia promedio debidos al incremento en el área superficial de los agregados individuales; respecto al porcentaje de participación de la adición de microsílice se consideraron diversos resultados obtenidos a nivel nacional y experiencias anteriores de diversos tesisistas; quienes obtuvieron óptimos resultados al adicionar entre un 9 a 10 % de microsílice. Por tal razón, se decidió optar por una participación de la microsílice en un 9.5% del peso del cemento y de donde se origina la denominación a la mezcla final como MS 9.5.

Con respecto al cemento usado, como se puede apreciar en los cuadros 27, 28 y 29 se observa que para los diseños desarrollados en esta investigación, en promedio se usan 595 Kg/m^3 , que a diferencia de diseños de concretos de altas resistencias realizados anteriormente en nuestra región, presentan una representativa disminución en el uso del cemento y una resistencia significativamente superior a la máxima alcanzada a nivel regional. Concluyendo, en concordancia con diversos resultados de investigaciones realizadas anteriormente a nivel local y nacional, en que al usar más cemento, no significa que la resistencia aumente. Todo está en función del agregado. Esto se debe, a que algunos agregados alcanzan el punto más allá (límite de la adherencia potencial de la combinación agregado – cemento), en el cual incrementos adicionales en el contenido de cemento no producen incrementos en la resistencia a la compresión del concreto. Respecto a los 3 diseños desarrollados, se buscó que estos tres tengan una cantidad aproximadamente cercana respecto a la cantidad de cemento y así realizar algunas comparaciones a base de la resistencia a la compresión obtenida.

Con respecto a las relaciones A/C consideradas: Para la mezcla C°P se consideró una relación A/C de 0.40. Trabajar con esta relación mínima teórica es adecuada para la hidratación del cemento, (especialmente cuando no se usan ni aditivos ni adiciones), evitando que se genere una alta producción de calor de hidratación (lo cual implica evitar que se produzca una mayor retracción y agrietamiento por secado). Evitar el

aumento adicional de agua sobre la relación (reduce la resistencia a compresión potencial que se pueda alcanzar) y lograr el asentamiento deseado.

Para las mezclas C°AS y MS, se usó la relación mínima posible, usando una relación A/C de 0.25, lo que demandó la incorporación por sobre la relación A/C de superplastificante; obteniendo los resultados deseados para las mezclas, tanto en estado fresco como endurecido. Lo laborioso fue determinar la dosis exacta, ya que ésta varía respecto a los insumos extras que se usen en la mezcla (microsílice en MS 9.5), dosificación que se obtuvo después de diversos ensayos realizados variando la dosificación para cada mezcla, hasta obtener la manejabilidad y consistencia adecuada (ver cuadros 03 y 04).

Con respecto al diseño usado: Se utilizó como principal fuente el método de diseño de mezclas de concreto de alta resistencia dado por el Comité ACI 211.4, al cual se le realizaron diversas modificaciones y/o ajustes en función de experimentación y de experiencias tomadas de otros investigadores, recordemos que método de diseño para concretos con resistencias superiores a los 840 Kg/cm^2 no existen, por tal motivo se cataloga como semi-empíricos a los diseños de concretos superiores a esta resistencia.

5.2.3 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO.

5.2.3.1 Consistencia:

El Slump o asentamiento del concreto normal (sin aditivos ni adiciones), el “C°P” presenta un asentamiento de 3.55”, lo que lo ubica como un concreto de consistencia mediana o plástica, la cual es la deseada a nivel general, ya que garantiza la buena manejabilidad de éste en obra.

Las mezclas “C°AS” y “MS 9.5” alcanzaron un Slump de 8.75” y 7.1” respectivamente, ubicándolas en la escala de los concretos normales, como concretos de consistencia muy húmeda y super fluida, respectivamente. Sin embargo, estos no son concretos normales, por lo que no se aplican los límites tradicionales, debido a que la consistencia del concreto es inducida químicamente (superplastificante); clasificando a su consistencia como fluida y de excelente manejabilidad y trabajabilidad (autonivelante y autocompactante) y recomendado para todo tipo de uso (estructural y no estructural),

especialmente para secciones altamente reforzadas, sin vibración y normalmente no adecuadas para vibrarse.

5.2.3.2 Peso unitario:

Las tres mezclas obtuvieron concretos de peso normal (ver cuadro N° 32). Es decir, de una masa unitaria entre 2250 a 2450 Kg/m^3 . Esto se debe en parte a la masa unitaria del agregado que está entre los 1300 a 1600 Kg/m^3 y a la proporción y participación de los demás insumos utilizados.

Las variaciones registradas de los pesos unitarios entre el C°P, C°AS y MS 9.5, quienes obtuvieron 2335, 2419 y 2445 Kg/m^3 respectivamente; se deben al uso del aditivo superplastificante, que hace que la mezcla sea prácticamente autocompactante, se incremente la cohesión, así como a la baja relación A/C que usan las dos últimas mezclas (C°AS y MS 9.5), lo cual genera mayor participación de los insumos de mayor densidad, como son los agregados (ver gráfico 05).

5.2.3.3 Contenido de aire:

Como se aprecia en los resultados (ver gráfico 08), el porcentaje de vacíos atrapados en la mezcla va en descenso significativo, esencialmente se nota la diferencia entre el C°P y las mezclas C°AS y MS 9.5. Esto se debe al uso del aditivo superplastificante, que genera propiedades autocompactantes y consistencia fluida del concreto.

5.2.3.4 Tiempo de fraguado:

Los tiempos de fraguado de las mezclas C°AS y MS 9.5 se encuentran en el cuadro N° 34, aclarando que estos tiempos solo son representativos; ya que se obtuvieron a una temperatura ambiente aproximada de 20 °C y recordemos que esta es variable por lo que se deben tomar las medidas necesarias.

5.2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

En la presente investigación específicamente se priorizó obtener la propiedad más característica, que define la calidad del concreto en estado endurecido, y la resistencia a la compresión uniaxial en probetas normalizadas.

5.2.4.1 Resistencia a la compresión.

Como se observa, la resistencia a la compresión a los 28 días de edad fue superada a través del diseño final MS 9.5, cumpliendo el objetivo principal de esta investigación. Por tal motivo, para la validación de los resultados nos apoyamos en las especificaciones dadas por el ACI 318.08, donde nos dice. Que cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos a 28 días será MAYOR o IGUAL al f'_c ; razón por la cual se elaboró un diseño para obtener una resistencia promedio f'_{cr} .

Las resistencias alcanzadas por las mezclas C°P y C°AS con respecto a la resistencia a la compresión del diseño $f'_c = 900 \text{ Kg/Cm}^2$; a la edad de 28 días estas llegaron a obtener en promedio el 56 y 79 % respectivamente; y a la edad de 56 días, se obtuvo el 59 y 90 % respectivamente. Recordemos que estos diseños fueron parte del proceso para obtener el diseño final MS 9.5. Por tal razón, el que no se obtenga una resistencia igual o superior a la del diseño especificado, no significa nada relevante.

5.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Con la obtención de los diseños finales de las mezclas C°P, C°AS y especialmente MS 9.5, y con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos, se hace una comparación de la significancia y de los parámetros estadísticos de la investigación y se establece la variación comparativa para cada caso.

Para obtener una referencia estadística con una amplia perspectiva, este análisis estadístico se realizó para cada una de las mezclas en todas las edades en las que se hizo las roturas (prueba de compresión). Para nuestro caso la norma nos exige que para testigos o probetas de 100 x 200 mm (4"x8") el número de ensayos mínimos que ayudarán a validar perfectamente los resultados obtenidos es de 3, y que los resultados individuales de cada testigo no sean menores a la resistencia del diseño f'_c en menos de un 10 %. Lo deseable es que se obtengan resistencias superiores, lo cual es ampliamente cumplido por el diseño final MS 9.5.

Del cálculo realizado de los indicadores estadísticos descritos de los concretos de alta resistencia C°P, C°AS y MS 9.5, cuyas resistencias promedios obtenidas a la edad de

56 días van de forma ascendente de 544, 805 y 1222 Kg/Cm^2 respectivamente; y de las cuales el principal y/o único diseño cuyos resultados deben tener la mayor representatividad, son los provenientes de la mezcla MS 9.5 (que obtuvo una resistencia a la compresión superior a la de diseño especificada). Mezcla que como se puede apreciar en el cuadro N° 41 y gráfico N° 17, presenta un coeficiente de variación desde el 1.58% obtenido de las muestras ensayadas a la edad de 56 días, hasta un máximo de 3.78% obtenida de las muestras ensayadas a la edad de 28 días, otorgándole la calificación de EXCELENTE respecto al grado de control de calidad. Cabe mencionar que la norma ACI, nos dice que, para muestras obtenidas en laboratorio, el máximo del porcentaje del coeficiente de variación debe ser del 5% en su resultado final (en este caso el valor obtenido de las muestras a 56 días de edad).

Para las demás mezclas, es decir, para en C°P y C°AS, también se les realizó un análisis estadístico, resaltando los resultados obtenidos por la mezcla C°AS, la misma que se mantuvo entre los límites, según los resultados mostrados en la gráfica N° 16 ($V \leq 5\%$), auto-denominándola como una mezcla con un grado de control de calidad entre excelente y bueno.

Respecto al concreto C°P, este presenta un coeficiente de variación máximo de 6.63 %, obtenido de las muestras ensayadas a los 3 días y cuyo valor es superior al límite máximo del grado de control bueno ($V \leq 5\%$), ubicándose como una mezcla con un grado de control regular a temprana edad ($V < 10\%$), que a diferencia de su coeficiente de variación obtenido de las muestras ensayadas a los 56 días, y cuyo valor final es el que define totalmente el grado de control de calidad del concreto C°P, el mismo que presenta su valor es de $V = 2.3\%$ (ver cuadro N° 39). Este porcentaje le otorga la calificación de EXCELENTE respecto al grado de control de calidad en la fabricación de este concreto.

Finalmente, se puede decir que el grado de control de calidad en función del coeficiente de variación es lo que determina si es que es posible o no replicar las mezclas, y por tanto obtener semejantes resultados respecto a la resistencia a la compresión obtenida, cuyo resultado es optimo y alentador, garantizando su futuro uso sin comprometer sus propiedades del concreto.

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.

Se puede decir que los costos de producción de las mezclas son justificados por las resistencias alcanzadas y que estas variaciones económicas, no son significativas, viendo desde la perspectiva costo/beneficio por $((Kg/Cm^2)/S/.);$ variaciones que desde esa perspectiva son insignificantes, pero que son absolutamente importantes y necesarias para obtener concretos de tales resistencias.

5.5 CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo con los resultados mostrados en el cuadro N° 37, donde se muestra que la mezcla MS 9.5 consiguió obtener una resistencia a la compresión promedio de 1222 kg/Cm^2 a la edad de 56 días; y también a los resultados obtenidos en el análisis estadístico (cuadro N° 41), donde de acuerdo al coeficiente de variación obtenido para la mezcla MS 9.5, $V < 5\%$, se puede concluir en que el grado de control de calidad para poder replicar esta mezcla es de grado excelente. De tal manera que **Se valida la hipótesis** porque al establecer una adecuada dosificación de los insumos usados, especialmente de los agregados provenientes de la cantera Buenos Aires (Río Huallaga), del aditivo y la adición; se logró obtener un diseño de concreto de alta resistencia con un valor superior a la resistencia de diseño especificada $f'c=900 Kg/Cm^2$, para ser usado en la ciudad de Tarapoto y/o Región San Martín.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

A base de las especificaciones técnicas existentes, se seleccionaron los agregados, buscando en sus características alcanzar la más óptima calidad. Optando finalmente por utilizar piedra chancada de tamaño nominal máximo de 1/2" y arenas trituradas; ambos provenientes de la cantera Buenos Aires, ubicada a la margen izquierda del río Huallaga en el Distrito de Buenos Aires, Provincia de Picota, Región de San Martín.

Utilizando los agregados antes mencionados, se ha logrado obtener un concreto de alta resistencia a la compresión, con un valor de 1222 Kg/cm^2 a la edad de 56 días, para la ciudad de Tarapoto. Resistencia alcanzada a través del concreto con aditivo superplastificante más la adición de microsilíce (MS 9.5).

El diseño final con el que se consiguió satisfacer el objetivo principal de esta investigación fue creado principalmente a base del Método de diseño propuesto por el Comité ACI 211.4; teniendo presente en todo proceso los parámetros dados por las Normas Técnicas Peruanas (NTP 334, 339 y 400) y las normas de la American Society for Testing Materials (ASTM: C136, C31, C33, C150, C1240).

Las resistencias promedio obtenidas evolucionaron de la siguiente manera: A los 3 días se obtuvo 661 Kg/cm^2 (54%), a los 7 días se obtuvo 853 Kg/cm^2 (70%), a los 28 días se obtuvo 1121 Kg/cm^2 (92%) y finalmente a la edad de 56 días se obtuvo 1222 Kg/cm^2 que representa el 100% de la resistencia final medida.

El obtener una resistencia superior de la resistencia a la compresión de diseño especificada ($f'_c=900 \text{ Kg/cm}^2$), permite afirmar enfáticamente, que sí se logrará obtener la resistencia f'_c bajo condiciones de campo; ya que en el laboratorio intervienen diversos factores que aseguran obtener la resistencia en su máximo esplendor.

Al realizar los diseños C°P y C°AS previos al diseño final MS 9.5, se consiguió obtener las proporciones, dosificaciones y modo de empleos básicos de los diversos insumos y en cuyos concretos también fue posible obtener altas resistencias, aunque éstas no

llegaron a superar la resistencia especificada $f'_c = 900 \text{ Kg/cm}^2$; sin su elaboración previa, no hubiera sido posible diseñar la mezcla MS 9.5.

Al realizar el análisis y evaluar el comportamiento de las mezclas obtenidas, se pudo constatar que el uso del aditivo superplastificante es imprescindible para poder usar una baja relación de A/C (a menor relación A/C, mayor resistencia a la compresión), ya que ésta ayuda a obtener una excelente consistencia, manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla en estado fresco. También permitió reducir significativamente la cantidad del cemento (debido a la baja proporción de agua), optimizando recursos y alcanzando resultados alentadores y muy satisfactorios.

La dosis óptima de microsilíce encontrada es del 9.5% del peso del cemento, con la cual se obtuvo la máxima resistencia a la compresión, 1222 Kg/cm^2 a la edad de 56 días.

El aditivo superplastificante en una dosis entre 1.4 % y 1.5 % del peso del cemento reduce la cantidad de agua entre un 30% a 40%.

El concreto MS 9.5 se hizo con adiciones de microsilíce (9.5%) y superplastificante (1.4%), obteniendo la máxima resistencia a la compresión (1222 Kg/cm^2 a la edad de 56 días), en comparación con el concreto C°AS que solo se le adicionó el superplastificante (1.5 %) y que reportó en promedio una resistencia a la compresión inferior a la obtenida por el concreto MS 9.5 en más de 400 Kg/cm^2 a la edad de 56 días. Respecto al concreto C°P, no usó aditivos y adiciones, obteniendo finalmente menos de la mitad de la resistencia obtenida por la mezcla MS 9.5 a edad de 56 días. Esto permite afirmar y concluir que la adición el superplastificante y la microsilíce, tienen una importancia significativa en las características finales de la mezcla.

El aditivo superplastificante acelera la resistencia inicial del concreto, a tal punto de que las mezclas que usaron el aditivo (C°AS y MS 9.5), obtuvieron a los 03 días de edad una resistencia superior que la obtenida por el concreto sin aditivos (C°P) a los 56 días de edad.

Las propiedades de la microsilíce provocan disminución en la porosidad en el concreto y esto permite que sea más durable, más resistente y, además, con la utilización de

aditivo reductor de agua de alto rango (superplastificante), se obtienen asentamientos que van de 7" a 10".

El costo de este tipo de concreto es mucho mayor comparado con el de un concreto tradicional, debido a la presencia de microsílice, aditivo y el aumento en la cantidad de cemento; pero el beneficio en la disminución de tiempo en alcanzar altas resistencias, en alcanzar resistencias imposibles de obtener sin la incorporación de estos materiales, en la disminución de grandes secciones estructurales y la durabilidad que posee, no hace apreciar las ventajas comparativas, presentándolo como la mejor opción a tomar en cuenta, para cierto tipo de estructuras.

Este concreto no requiere de maquinaria especial para su elaboración, pues su manejo se rige igual que el tradicional, simplemente requiere mayor control de calidad entre los materiales y el tiempo de ejecución.

6.2 RECOMENDACIONES

Para obtener un concreto de resistencia a la compresión mayor a 900 Kg/cm^2 debe usarse materiales que son especificadas en las Normas Técnicas, trabajar bajo la guía de las condiciones y procedimientos básicos que da el método de diseño de mezclas del Comité ACI 211.4; y realizar los ajustes que se crean convenientes cuando se trabaje con tablas y/o recomendaciones técnicas, sobre todo en el requerimiento de agua, relación A/C, contenido de aire atrapado y especialmente en la dosificación y modo de empleo del aditivo superplastificante.

Realizar un estricto control de calidad de los insumos a usar y exigir que estos cumplan con los requerimientos técnicos de calidad solicitados.

Las cantidades de cada insumo a utilizar deben de ser cuidadosamente observados (medición exacta).

Determinar rigurosamente el contenido de humedad previo a la realización de cada tanda y usar esos datos para corregir correctamente las variaciones por contenido de humedad y absorción en el diseño, a fin de no afectar la relación A/C.

Al realizar el mezclado, esperar a que el aditivo reaccione. Mezclar homogéneamente y no escatimar el tiempo de mezclado. Al agregar el aditivo, ver que éste se encuentre diluido en el agua de mezclado o incorporarse en simultáneo; procurar que toda la mezcla sea humedecida.

Para poder obtener la dosis adecuada del aditivo superplastificante es necesario realizar pruebas experimentales usando diversas variaciones hasta obtener una mezcla idónea que pueda ser usada en obra.

Mantener el curado bajo una solución de agua de cal a una misma temperatura hasta la fecha de ensayo, ya que los concretos de alta resistencia son muy susceptibles a los cambios de temperatura y a la lixiviación.

Realizar investigaciones con reemplazo de microsílice y/o nanosílice. Para reemplazar, usar nanosílice en vez de microsílice, o simplemente combinar ambos y reemplazar. También, se podría trabajar con porcentajes de estos aditivos, menores al 9.5 %.

Para garantizar un mayor uso y/o aplicabilidad de este material, una de las tareas urgentes de los ingenieros estructurales debería ser realizar una revisión de las ecuaciones usuales para determinar la aplicabilidad de las mismas en concretos de alta resistencia; a fin de contar con información actualizada en los niveles de resistencia en los que actualmente se trabaja.

Tratar de adaptarse a las nuevas tecnologías de materiales existentes a nivel mundial, no conformarse con lo que fue creado hace décadas, innovar con nuevos insumos para crear materiales alternativos y de otras aplicaciones en la ingeniería civil, en otras palabras mejorar con lo nuevo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

7.1 BIBLIOGRAFÍA

ABANTO CASTILLO, Flavio; “Tecnología del concreto”. Editorial San Marcos. 1ra Edición. Lima-Perú.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI); “363R-92”, “318-89”, “211.4-08”; U.S.A.

AYRBAR DE LA TORRE, Miguel; “Tecnología del concreto”. Editorial San Marcos. 2da Edición. Lima-Perú.

CACHAY HUAMÁN, Rafael; “Diseño de Mezclas de Concreto” [tesis]. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. Marzo 1993.

GARCÍA TORRES, Mario; “Diseño de concreto de alta resistencia $f'c=480 \text{ kg/cm}^2$, usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto” [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú. 2013.

GONZALES GARCÍA, José Luis; “Las mezclas de concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto utilizando el método de agregado Global y Modulo de Finura.” [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú. 2003.

HUINCHO SALVATIERRA, Edher. “Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílice, nanosílice con cemento portland tipo I” [Tesis]. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú. 2011.

MILLONES PRADO, A. Antonio. “Concreto de alta densidad con supera plastificante”. [Tesis]. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú. 2008.

MORATAYA CÓRDOVA, C. Eduardo; “Concreto de alta resistencia (Experimentación en Guatemala)” [Tesis]. Universidad de San Carlos de Guatemala; Guatemala-2005.

NORMAS TÉCNICAS PERUANAS; Perú.

PASQUEL CARBAJAL, Enrique. “Tópicos de Tecnología del Concreto”. Editorial Arcángel. 1ra Edición. Lima-Perú, 1993.

PINEDA G., Elsi C.; “Estudio de la influencia de las propiedades físicas del agregado grueso” [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú. 2007.

PORTUGAL BARRIGA, Pablo; “Tecnología del Concreto de alto Desempeño”. Editorial UNAS. 1ra Edición. Paris-Francia. Junio del 2007.

RIVVA LÓPEZ, Enrique, “Concretos de alta resistencia”. Editorial ICG. Primera Edición. Perú, 2012.

SANTA CRUZ BURGA, Lelis; “Diseño de concreto de alta resistencia $f'c$ 600 Kg/Cm², usando agregados del río Huallaga para la ciudad de Tarapoto” [Tesis]. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto-Perú. 2014.

7.2. LINKOGRAFÍA

http://www.aci-uni.org/userfiles/concreto_de_alta_resistencia.pdf

http://www.asocem.org.pe/bivi/re/dt/RES/investigacion_concreto.pdf

<http://carboninspired2.com/blog/?p=584>

http://www.cemexmexico.com/Concretos/files/fichasTecnicas/FT_AltaResistencia_BAJA.pdf

http://cybertesis.urp.edu.pe/urp/2010/leandro_jl/pdf/leandro_jl-TH.4.pdf

<http://es.slideshare.net/Anabelenn/concreto-de-alta-resistencia>

<http://es.slideshare.net/Garychv/nuevos-metodos-de-diseo-de-mezclas-de-concreto>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Cl%C3%ADnker>

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP15es.pdf>

<http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP33es.pdf>

<http://www.prommsa.net/hub.cfm/prefabricados/index.html>

<http://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.pe/2013/08/contrastacion-de-hipotesis-en-una.html>

<http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/alta-resistencia/118/c-118>

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 01: ENSAYOS PRELIMINARES

Anexo N°01.01 Propiedades físicas de los agregados:

Anexo N°01.01.01 Propiedades físicas del agregado fino:

Anexo N°01.01.02 Propiedades físicas del agregado grueso

Anexo N°01.01.02.01
Propiedades físicas de la
piedra chancada de 1/2”.

Anexo N°01.01.02.02
Propiedades físicas de la
piedra chancada de 3/8”.

Anexo N°01.01.02.03
combinación óptima de los
agregados gruesos.

Anexo N°01.02 Propiedades químicas de los agregados:

Anexo N°01.02.01 Propiedades químicas del agregado fino:

Anexo N°01.02.02 Propiedades químicas del agregado grueso:

ANEXO N° 02: DISEÑO DE MEZCLAS

Anexo N° 02.01: Diseño del Concreto Patrón (C°P)

Anexo N° 02.02: Diseño del Concreto más aditivo superplastificante (C°AS)

**Anexo N° 02.03: Diseño del
Concreto con aditivo
superplastificante más
microsílice (MS 9.5)**

ANEXO N° 03: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

ANEXO N° 04: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

Anexo N° 04.01: Resistencia a la compresión.

**Anexo N° 04.01.01: Resistencia
a la compresión a 03 días de
edad.**

**Anexo N° 04.01.02: Resistencia
a la compresión a 07 días de
edad.**

**Anexo N° 04.01.03: Resistencia
a la compresión a 28 días de
edad.**

**Anexo N° 04.01.04: Resistencia
a la compresión a 56 días de
edad.**

Anexo N° 04.01.05: Resumen resistencias a la compresión.

**ANEXO N° 05: CONSTANCIA
DE HABER REALIZADO LOS
ENSAYOS EN EL LEM-UNI.**

ANEXO N° 06: ANÁLISIS DE COSTOS

ANEXO N° 07: PANEL FOTOGRAFICO

ANEXO N° 08: HOJAS TÉCNICAS DE INSUMOS USADOS

Anexo N° 08.01: Hoja Técnica del Cemento

Anexo N° 08.02: Hoja Técnica del Aditivo Superplastificante

Anexo N° 08.03: Hoja Técnica de la Adición Microsílice